



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**DIVERSIDAD GENÉTICA Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE *Musa* (AAA)
SUBGRUPO “CAVENDISH” SELECCIONADOS POR SU COMPORTAMIENTO
AGRONÓMICO EN LA PROVINCIA DE FORMOSA**

Ing. Agr. Msc. GERARDO CARLOS TENAGLIA

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

DIRECTOR: Ing. Agr. MSc. Dr. GUILLERMO RAÚL PRATTA

CO- DIRECTOR: Lic. en Estadística. MSc. Dra. CELINA BELTRÁN

2024

**DIVERSIDAD GENÉTICA Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE *Musa* (AAA)
SUBGRUPO “CAVENDISH” SELECCIONADOS POR SU COMPORTAMIENTO
AGRONÓMICO EN LA PROVINCIA DE FORMOSA**

Gerardo Carlos Tenaglia

Ingeniero Agrónomo. Magister en Mejoramiento Vegetal. Universidad Nacional de
Rosario.

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en AIPAF - INTA Laguna Naick-Neck, Formosa y la UNR, durante el período comprendido entre mayo 2017 y febrero 2023, bajo la dirección del Ing. Agr. Msc. Dr. Guillermo Raúl Pratta y la co-dirección de la Lic en Estadística Msc. Dra. Celina Beltrán.

Gerardo Tenaglia. Doctorando en Ciencias Agrarias.

Guillermo Pratta. Director

Celina Beltrán. Co - Directora

Defendida:de 20__.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Guillermo Pratta por toda la dedicación, guía, discusiones y paciencia, no solo en esta tesis, sino en todo el desarrollo del programa de mejoramiento que se forjó a través de todas las charlas técnicas y de manejo de un programa, antes y durante estos años del doctorado.

A mis dos compañeros de trabajo, César /Hernán, Hernán/César por la conducción de los ensayos de campo y la responsabilidad en la toma de datos, factor fundamental en el momento de analizar los mismo.

A mi Flaca, que me soportó, de manera literal, me soportó estos años de ensayos, materias rendidas y escritura.

DEDICATORIA

A mis viejos....

PUBLICACIONES Y PRESENTACIONES A CONGRESOS

Trabajos publicados

Ermini, J.L.; Tenaglia, G.C.; Pratta, G.R. 2018. Molecular diversity in selected banana clones (*Musa* AAA "Cavendish"): adapted to the subtropical environment of Formosa Province (Argentina). *American Journal of Plant Sciences* 9(12): 2504-2513 doi.org/10.4236/ajps.2018.912181.

Ermini, J.L.; Tenaglia, G.C.; Parisod, C.; Pratta, GR. 2021 Banana somaclonal variation assessed by Amplified Fragment Length Polymorphism profiles at early cycles of *in vitro* culture. *Agriscientia* 38(2): 143.148.

Del Medico, A.P.; Tenaglia, G.; Lavallo, A.L.; Vitelleschi, M.S.; Pratta G.R. 2021. Analysis of mixed data to select bananas clones (*Musa* spp.) to be included in a germplasm bank. *Journal of Basic and Applied Genetics* 32(1): 25-42.

Tenaglia, G.C.; Keim, C.; Romero, H.; Pratta, G.R. 2023. Yield evaluation of four cultivated banana (*Musa acuminata*) varieties and determination of the optimal plot size for statistical confidence of field assays in the Formosa province (Argentinean Northeastern). *RIA (Revista de Investigación Agronómica, INTA)* 49(2): 56-59.

Ermini Starna, J.L.; Tenaglia, G.C.; Pratta, G.R. 2024. Micropropagation of banana genetic resources adapted to the Argentine environment and generation of new variability for agronomic traits through somaclonal variation. *Genetic Resources and Crop Evolution* <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01840-0>.

Trabajos presentados en Congresos y Reuniones Científicas

Del Medico, A.P.; Ermini, J.L.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.S.; Lavallo, A.; Pratta, G.R. 2018. Propuesta de un enfoque estadístico para seleccionar clones de banana a partir de un diseño aumentado, teniendo en cuenta la variabilidad genética. III Jornadas Regionales de Genética del Litoral (SAG). Rafaela, Santa Fe.

- Del Medico, A.P.; Ermini, J.L.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.S.; Lavallo, A.; Pratta, G. 2018. Estimación de efectos ambientales sobre el fenotipo de clones de banana mediante Análisis Factorial Múltiple Jerárquico. XXIII Reunión Científica del GAB y II Encuentro Argentino-Chileno de Biometría. Neuquén.
- Del Medico, A.P.; Ermini, J.L.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.S.; Lavallo, A.; Pratta, G. 2018. Índice de selección para múltiples caracteres en una población de banana (*Musa spp.*). XXIII Reunión Científica del GAB y II Encuentro Argentino-Chileno de Biometría. Neuquén.
- Del Medico, A.P.; Ermini, J.L.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.S.; Lavallo, A.; Pratta, G.R. 2018. Caracterización fenotípica de clones de banana mediante Análisis Factorial Múltiple Dual. XX Congreso y XXXVIII Reunión Anual de la SBR. Rosario.
- Del Medico, A. P.; Degreef, S.; Tenaglia, G.; Lavallo, A.; Vitelleschi, M.S.; Pratta, G.R. 2019. Criterios para la conformación de un banco de germoplasma de banana. XXIV Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Mendoza.
- Degreef, M.S.; Del Medico, A.P.; Tenaglia, G.; Pratta, G. 2019. Parámetros genéticos en una población de clones de bananas como criterios para la formación de un banco de germoplasma.
- García V, Tenaglia G, Pratta GR (2020) Heredabilidad del contenido de sólidos solubles totales en variedades de banana (*Musa ssp.*) y su caracterización en clones selectos en el ambiente subtropical de Formosa. XXII Congreso y XL Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario, Modalidad virtual.
- Del Medico AP, Tenaglia G, Vitelleschi MS, Lavallo A, Pratta GR (2020) Identificación de clones de banana (*Musa spp.*) para la creación de un banco de germoplasma. XXV Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría Tandil, modalidad virtual.
- Del Medico, A.P.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.S.; Lavallo, A.; Pratta, G.R. (2021) Análisis factorial múltiple mixto para la identificación de clones de banana (*Musa spp.*). 25 Jornadas de Investigaciones en la Faculta de Ciencias Económicas y Estadística UNR. Rosario.

García, V.; Tenaglia, G.; Pratta, G.R. (2022) Primera caracterización de calidad de fruta en clones de banana argentinos. I Reunión Argentina – Chile de Ciencias Agrarias y VII Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR. Rosario. Modalidad virtual.

Tenaglia, G.C.; Pratta, G.R. (2022) Determinación del tamaño de parcela óptimo por el método de la máxima curvatura para la evaluación de clones de banana (*Musa x paradisiaca*) en la provincia de Formosa. I Simposio de Ciencias Agrarias del INTA: “Innovando Ciencia: Nuevas tecnologías aplicadas al mejoramiento genético”. Encuentro virtual.

Tenaglia, G.C.; Pratta, G.R. (2023) Selección por índice multivariado para caracteres de interés productivo en banana. VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR - II Reunión Argentina – Chile (Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción). Encuentro virtual.

Del Medico A.P.; Vitelleschi, M.S.; Tenaglia, G.; Pratta G.R.; Lavalle, A. (2023) Caracterización fenotípica de clones de banana (*Musa spp.*) en el norte argentino mediante análisis factorial múltiple dual mixto. XXVII Reunión Científica del Grupo Argentino de Bioestadística. Salta.

Tenaglia, G.; Pratta, G.R. (2023) Caracterización fenotípica de un banco de germoplasma argentino de banana seleccionado por índice multivariado. XXV Congreso y la XLIII Reunión Anual de la SBR. Rosario, Santa Fe.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIA.....	2
PUBLICACIONES Y PRESENTACIONES A CONGRESOS	3
ÍNDICE.....	6
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
Consideraciones generales.....	13
Producción mundial.....	13
Comercio mundial de banano.....	15
Prospectiva.....	16
Descripción botánica.....	16
Condiciones climáticas.....	20
Clasificación botánica.....	22
El cultivo en Argentina.....	24
El cultivo en la provincia de Formosa.....	26
Antecedentes directos de esta tesis.....	30
Hipótesis, objetivo general y objetivos específicos.....	36
CAPÍTULO I: “Caracterización molecular de los recursos genéticos de <i>Musa acuminata</i> (AAA) Subgrupo Cavendish”.....	38
1 Introducción.....	39
2 Materiales y métodos.....	41
2.1 Material vegetal.....	41
2.2 Extracción y evaluación de ADNg.....	41
2.2.1 Restricción del ADNg.....	42
2.2.2 Ligación de los fragmentos con los adaptadores.....	42
2.2.3 Pre amplificación y amplificación selectiva: PCR.....	42
2.2.4 Siembra, corrida y visualización de la amplificación selectiva.....	44
2.3 Análisis de los datos.....	44
3 Resultados obtenidos.....	46
4 Discusión.....	50
5 Conclusiones.....	52
CAPÍTULO II: “Evaluación de aptitud agroecológica de la provincia de Formosa, Argentina para la producción de banana”.....	53
1 Introducción.....	54

2 Materiales y métodos.....	54
2.1 Materiales vegetales.....	54
2.2 Diseño aumentado.....	55
2.3 Manejo del cultivo.....	56
2.4 Variables evaluadas.....	57
2.5 Análisis estadísticos.....	60
3 Resultados.....	61
3.1 Resultados de los testigos en cuatro ciclos de evaluación.....	61
3.2 Resultados de los clones en dos ciclos de evaluación.....	69
4 Discusión.....	74
4.1 Caracteres vegetativos.....	74
4.2 Caracteres productivos.....	79
5 Conclusiones	83

CAPÍTULO III: “Selección de clones promisorios mediante ensayo comparativo de rendimiento entre la biodiversidad de banana recolectada en campos de productores y conformación de la primera variedad argentina para liberar a los sistemas productivos en el corto plazo”.....

1 Introducción.....	85
2 Materiales y métodos.....	86
2.1 Construcción Índice Selección.....	88
2.2 Selección de los clones promisorios.....	88
2.3 Evaluación de los 30 clones seleccionados.....	88
3 Resultados.....	89
3.1 Construcción del índice de Selección.....	89
3.2 Selección de los mejores 30 clones	90
4 Discusión.....	93
4.1 Índice de Selección.....	93
4.2 Caracteres vegetativos.....	93
4.3 Caracteres productivos.....	96
5 Conclusiones.....	100

CAPÍTULO IV: “Conformación de un banco de germoplasma de banana”

1 Introducción.....	101
2 Materiales y métodos.....	102
2.1 Construcción Índice de Selección.....	105
2.2 Selección de los clones que conforman el Banco de Germoplasma.....	105
2.3 Evaluación de los 40 clones seleccionados.....	105
2.4 Estimación de la estructura de covariancia en las poblaciones estudiadas.....	106
3 Resultados.....	107
3.1 Construcción del índice de que conforman el Banco de Germoplasma.....	107
3.2 Selección de los clones que conforman el Banco de Germoplasma.....	107
3.3 Evaluación de los 40 clones seleccionado.....	109
3.4 Estimación de la estructura de covariancia en las poblaciones estudiadas.....	110
4 Discusión.....	114
4.1 Caracteres vegetativos.....	115

4.2 Caracteres productivos.....	116
4.3 Estructuras de correlaciones o covariancia.....	116
5 Conclusiones	118
 CAPÍTULO V: “Reflexiones finales”.....	119
¿Por qué se produce en el Subtrópico de Argentina?.....	120
¿Desde dónde se arrancó?.....	121
¿Qué se realizó?	121
¿Qué estrategias se podrían diseñar a partir de los resultados de esta tesis?.....	122
Conclusiones finales.....	125
 Bibliografía.....	126

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ton/ha: Toneladas por hectárea.

TR4: Raza Tropical 4 del marchitamiento por Fusarium.

msmn: Metros sobre el nivel del mar.

AMOVA: Análisis Molecular de la Variancia.

RAPD: Random Amplified Polymorphic ADN (ADN polimórfico amplificado aleatorio).

SSR: Simple Sequence Repeats (Repeticiones de Secuencias Simples).

AFLP: Amplified Fragment Length Polymorphism (Polimorfismo por Amplificación de Longitud de Fragmentos).

ACP: Análisis de Componentes Principales.

ADN: Ácido desoxirribonucleico.

ADNg: ADN genómico.

AFMM: Análisis Factorial Múltiple Mixto.

RESUMEN

El banano es cultivado en todas las regiones tropicales y algunas subtropicales del mundo. Se produce en 119 países y solo el 20% de la producción mundial se destina al comercio internacional, lo que indica que la banana es producida para el mercado interno. La región subtropical húmeda de la provincia de Formosa (lat -25.2024130°; log -58.1212980°), permite el desarrollo económico del cultivo, pese a las condiciones invernales que lo afectan y una producción de manera totalmente extensiva. Existen en ella recursos genéticos que no han sido caracterizados previamente y constituyen una enorme posibilidad de encontrar genotipos superiores. Sin embargo, para poder ser utilizados, deben ser identificados y caracterizados en su respuesta frente a los factores, abióticos, bióticos y a la introducción de nuevas tecnologías. Una amplia gama de polimorfismo molecular, analizada por Polimorfismo por Amplificación de Longitud de Fragmentos (AFLP) sobre una muestra de 44 clones procedentes de seis productores y dos cultivares, se halló este nivel de polimorfismo (100%), que podría ser debido a la forma de introducción y a la consecuencia en la adaptación a ambientes subtropicales. La alta diversidad molecular observada y agrupada por análisis multivariado demuestra una superposición de genotipos entre productores; sin embargo, con algunos rasgos distintivos entre ellos. Los resultados del AMOVA demuestran que la variación es mayor dentro de los campos productores y no entre grupos de genotipos de campos. Los análisis multivariados junto con los resultados del AMOVA son fundamentos básicos de que existe diversidad molecular en los campos de productores. Mediante el cultivo de variedades internacionales, se demostró que las condiciones agroecológicas de Formosa son aptas para la producción comercial. En estas condiciones, se observó que las variaciones fenotípicas, de las variedades internacionales, para ciertas variables (altura de planta, circunferencia del pseudotallo, número de manos a floración, peso del raquis y peso total) están altamente influenciadas por las variaciones genotípicas. En cambio, otras variables (hojas a floración, fecha de bolsa, fecha de cosecha, hojas a cosecha, peso de la mano de 5 a 9, longitud del dedo de la segunda mano, diámetro del dedo de la última mano y grosor de la cáscara) se deben únicamente a variaciones ambientales. Para unas pocas variables, se determinó una influencia intermedia entre factores genotípicos y ambientales. Habiéndose detectado esto, la caracterización de un conjunto de clones recolectado en campo de productores evidenció que hay biodiversidad para caracteres de interés productivo a partir de la cual es posible, conformar la primera variedad local y la conformación de un banco de germoplasma. Los mejoradores a menudo tienen dificultades para resumir y describir con precisión el éxito de un clon. Por eso, se propone un Índice de Selección (IS) a través de un enfoque multivariado para estimar la variabilidad genética en el conjunto de clones original en relación a la variación

fenotípica expresada, que proporcione un marco para la toma de decisiones en las regiones subtropicales. Como aplicación agronómica se puede inferir un fenotipo para el NEA, altura de planta de 3,50 m a 3,80 m; circunferencia de pseudotallo superior a los 80 cm; 11 manos a floración; llegar a cosecha con 4 a 5 hojas; longitud de los dedos superior a 24 cm, diámetro de los dedos de 40 mm y grosor de cáscara que supere los 4,00 mm. Sin embargo, existe marcada variabilidad ambiental en la provincia de Formosa, tanto dentro de una misma zona geográfica entre años, como entre zonas que se encuentran a escasa distancia. Por estos motivos, ese fenotipo debe ser expresado por genotipos diferentes, de forma tal que la variedad a lograr tenga homeostasis genética. En consecuencia, se deben conformar variedades equivalentes a las multilíneas de las especies de reproducción sexual. Como resultado de esta propuesta, se obtuvieron tres grupos fenotípicos que difieren para afrontar esta variabilidad climática. Para conservar esta variabilidad, la aplicación del Análisis Factorial Múltiple Mixto (AFMM) permitió caracterizar al conjunto de clones de banana por caracteres cuantitativos y cualitativos. En efecto, para establecer criterios objetivos y mensurables para identificar un subconjunto de clones que presente la mayor diversidad, con los que se conformará un Banco de Germoplasma, se deberían tener en cuenta ambos tipos de caracteres. El IS construido a partir de este análisis permitió reducir a un 29 % aproximadamente el número de clones a conservar en un banco de germoplasma, manteniendo los niveles de variabilidad recolectada. La evaluación fenotípica de los valores medios y las variancias en caracteres de interés agronómico, corroboró que este grupo de 40 clones conserva la variabilidad de la población original. Adicionalmente, la evaluación de la estructura de covariación en los tres grupos evaluados (población total en estudio, clones promisorios y clones para banco de germoplasma), fue congruente con el logro de los objetivos planteados para los dos procesos de selección realizados, uno tendiente a obtener variedades adaptadas a las condiciones locales y el otro tendiente a conservar la variabilidad.

Palabras claves: Banana, Marcadores Moleculares, Mejoramiento Genético, Banco de Germoplasma.

ABSTRACT

Genetic diversity and use of genetic resources of *Musa* (AAA) Subgroup “Cavendish” selected for its agronomic behaviour in Formosa province.

Bananas are grown in all tropical and some subtropical regions of the world. The humid subtropical region of Formosa (lat -25.2024130°; log -58.1212980°) allows the development of the crop, despite the winter conditions that affect it. There are in this environment many genetic resources which have not been previously characterized and must be identified and characterized in their response to abiotic and biotic factors. A wide range of molecular polymorphism, analysed by AFLP, was found among the clones; this level of polymorphism could be due to the form of introduction and the consequence in adaptation to subtropical environments. The AMOVA results demonstrate that the variation is greater within producer's fields and not between them. The multivariate analyses together with the AMOVA results are basic foundations that there is molecular diversity in the producers' fields. Through international varieties, it was demonstrated that the agroecological conditions of Formosa are suitable for production. The characterization of a set of collected clones showed that there is biodiversity for characters of productive interest from which it is possible to form a local variety and the formation of a germplasm bank. There are difficulties in summarizing and accurately describing the success of a clone, hence a Selection Index is proposed through a multivariate approach to estimate genetic variability, which provides a framework for decision making in subtropical regions. As an agronomic application, the best phenotype can be inferred for this region: height between 3.50 m and 3.80 m; pseudostem circumference greater than 80 cm; 11 hands to flowering; 4 to 5 leaves present at harvest; finger diameter of 40 mm and shell thickness greater than 4.00 mm. However, there is marked environmental variability in Formosa and, for these reasons, this phenotype must be expressed by different genotypes, so that the variety to be achieved had genetic homeostasis. To preserve this variability, the application of Mixed Multiple Factor Analysis (AFMM) allowed the set of banana clones to be characterized by quantitative and qualitative characteristics. The Selection Index constructed from this analysis allowed to reduce the number of clones to be conserved to 29%, maintaining the levels of variability collected. Additionally, the evaluation of the covariation structure was consistent with the achievement of the objectives.

Keywords: Banana, Molecular Markers, Genetic Improvement, Germplasm Bank.

INTRODUCCIÓN

Consideraciones generales

El sureste asiático se considera el lugar de origen de los bananos. Si bien, su cultivo se desarrolló simultáneamente en Malasia y en las Islas de Indonesia, el lugar exacto de origen no está completamente claro. Es cultivada en todas las regiones tropicales y algunas subtropicales del mundo. Se reconoce como vital para la seguridad alimentaria en numerosos países (en África es el componente principal de la dieta humana) y constituye la fruta más popular en países industrializados (Soto Ballester, 2008). Esto es debido a su sabor, textura y el beneficio a la salud humana dado por su aporte en fibra, bajo contenido de sodio y ser la fuente más rica de vitamina B6 y potasio “listos para consumir” con solo pelar una fruta. Recientemente se ha despertado un interés sobre otros beneficios positivos de la banana, en la reducción y tratamiento de enfermedades como úlceras, infecciones, diabetes, diarrea y colitis (Prasad et al., 2022).

Producción mundial

Está ubicado entre el octavo y décimo cultivo alimentario y cuarto entre los países menos desarrollado, primero en volumen y en valor económico. Es un importante producto para muchos países en vías de desarrollo junto con el trigo, maíz y arroz (FAOSTAT, 2014; Elbehri, 2015). Según las estimaciones estadísticas de la Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO, 2022) se produjeron 137 millones de toneladas y exportaron 20,5 millones de toneladas en el año 2021.

Se produce en 119 países, de los cuales quince de ellos son responsables del 72 % de la superficie plantada. En los primeros cinco lugares se encuentran la India, con 924.000 ha, China con 705.123 ha, Brasil con 453.273 ha, Tanzania 354.062 ha y El Congo con 228.745 ha. Le siguen Ruanda, Filipinas, Perú, Angola, Ecuador, Burundi, Indonesia, Vietnam y Colombia, con cerca de 150.000 ha cada uno, para cerrar el grupo de los quince países con mayor superficie plantada con banana (Figura 1). La República Argentina cuenta con una superficie de 8.418 ha (FAO, 2022).

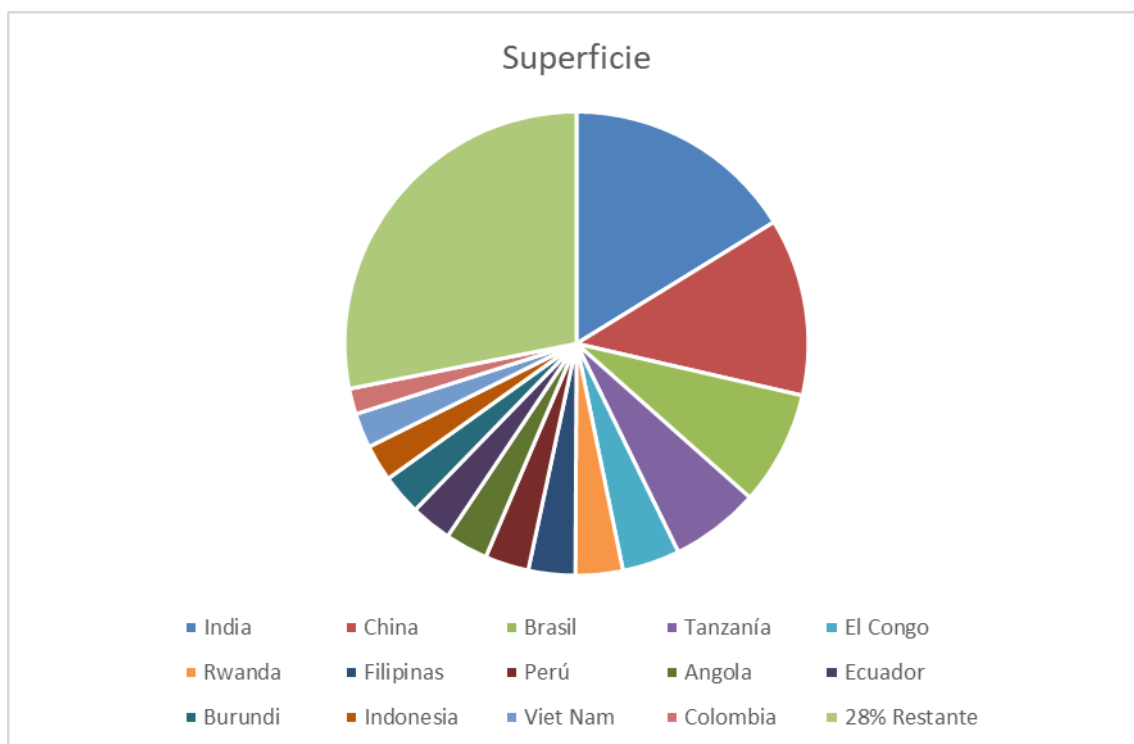


Figura 1: Datos tomados de FAOSTAT 2022.

Los principales países productores (en términos de tonelada producida) son India y China que conjuntamente representaron poco más de 41 % de la producción total en el 2021. Un segundo grupo de países productores, con participación en torno al 3,6 % cada uno y en este orden de importancia son: Indonesia, Brasil, Ecuador, Filipinas, Angola y Guatemala (Figura 2). Los demás aportan el 31,6 % (FAOSTAT 2022), en tanto que la Argentina produce 176.619 ton que representan el 0,128 % de la producción mundial.

El rendimiento promedio mundial es de 23 toneladas por hectárea (ton/ha), siendo Guatemala (57,6 ton/ha) y Costa Rica (54 ton/ha) los países con una productividad alta, en tanto que India (35,5 ton/ha) y China (34 ton/ha) los dos de mayor superficie, tienen una productividad media. Los países de menor productividad son Brasil con (15 ton/ha) y Tanzania (10,1 ton/ha) (FAO, 2022). Este último posee la cuarta mayor área de plantación en el mundo, pero debido a su baja productividad ocupa la novena posición como productor mundial. La República Argentina tiene, de acuerdo a FAO, un rendimiento de 21 ton/ha.

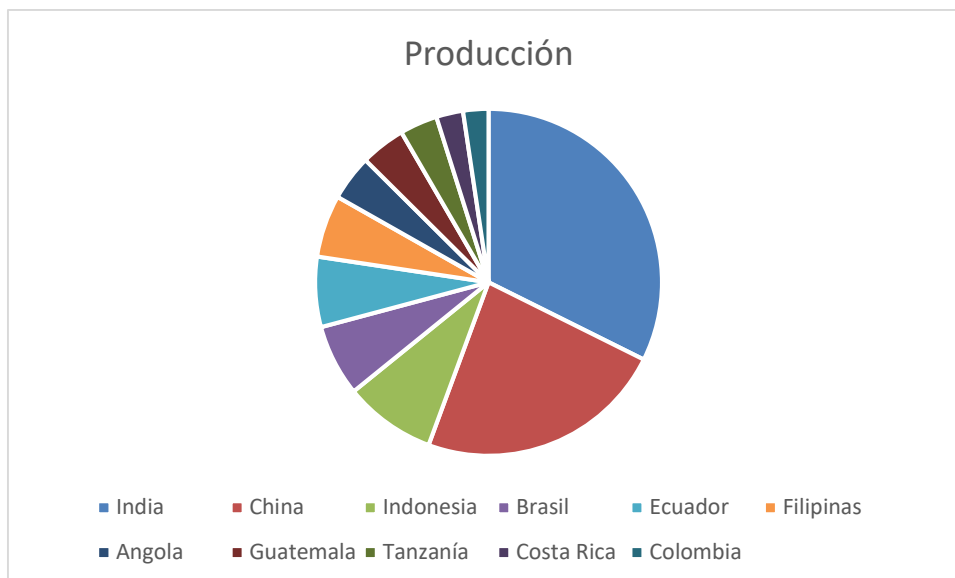


Figura 2: Producción en el año 2021 expresadas en toneladas por hectárea. Datos tomados de FAOSTAT 2022. Esta campaña incluye los efectos de la pandemia COVID-19 en la producción y el transporte.

Comercio mundial del banano

Alrededor del 20 % de la producción mundial se destina al comercio internacional, lo que indica que la banana es producida para el mercado interno y explica el hecho que los mayores productores (India y China) no se encuentran entre los países exportadores. En la campaña 2021 el mercado internacional estuvo afectado por varios factores que influyeron en el abastecimiento y en la demanda:

- La continuidad de las medidas referente al COVID-19, que aumentaron los costos de transporte y almacenamiento.
- Las condiciones climáticas que impactaron de forma desfavorable en varias regiones productoras.
- Regulaciones sobre la dispersión de la Raza Tropical 4 (TR4) del marchitamiento por Fusarium, con el alarmante descubrimiento en el Perú en abril de 2021 que obstaculizaron envíos desde América Latina (FAO, 2022).
- Más exigencias en los niveles de residuos en los principales mercados.
- Una ligera baja en la demanda mundial, debida a los incrementos de los costos. Para la campaña 2022 se espera otra leve disminución por la guerra en Ucrania, que ha puesto aún más presión sobre las energías, fertilizantes y el resto de la cadena de suministros (FAO, 2022).

Debemos considerar que varios de estos factores favorecen la producción local, la distancia a mercado, la cual disminuye los costos de transporte y almacenamiento, libre de TR4 y trabajar con materiales tolerantes y/o resistentes a enfermedades, bajando o eliminando los niveles de residuos.

Como consecuencia, las exportaciones mundiales fueron de 20,5 millones de ton, disminuyendo en unos 1,7 millones respecto del 2020, lo que marca una de las mayores caídas anuales registradas hasta el momento (FAO, 2022). América Latina y el Caribe son los principales exportadores mundiales con 15,9 millones de ton en el 2021, siendo los principales países en orden de importancia; Ecuador, 6,8 millones de ton; Costa Rica, 2,3 millones de ton; Guatemala, 2,3 millones de ton; Colombia, 2,1 millones de ton; México, 513.000 ton destinadas totalmente al mercado de los EEUU; República Dominicana, 360.000 ton. Le siguen Asia con 3,9 millones de ton y África con 340.000 ton exportadas.

Prospectivas

Las proyecciones apuntan a que la producción mundial de bananos crecerá a un ritmo del 1,5 por ciento anual, hasta alcanzar los 145 millones de toneladas en 2028. De entre las frutas tropicales (mango, palta, piña, papaya), el banano registra el crecimiento más lento debido a que su demanda está bastante saturada en la mayoría de las regiones y es impulsada principalmente por el crecimiento de la población. El consumo per cápita se ha mantenido estable a nivel mundial en torno a los 15 kilogramos desde 2010; puede aumentar ligeramente en el mediano plazo y se prevé que represente aproximadamente el 53 por ciento del total de la producción mundial de frutas tropicales en 2028 (FAO, 2020). Esto indica que el cultivo del banano y las frutas tropicales seguirán figurando entre los de más rápido crecimiento en la agricultura y, como tales, merecen la atención de los encargados de formular políticas que buscan fuentes de crecimiento económico y mitigación de la pobreza en las zonas rurales de los países tropicales y sub tropicales.

Descripción botánica

La banana es considerada una hierba gigante, posee un tallo subterráneo llamado raquis, donde están apoyados todos sus órganos: raíces, yemas, hijuelos, pseudotallo, hojas y frutos (Sakai, 2010; Robinson y Galán Saúco, 2012). Las hojas tienen una distribución helicoidal (filotaxia espiral) y las bases foliares circundan al tallo o raquis dando origen al

pseudotallo. La inflorescencia es terminal y crece a través del centro del pseudotallo hasta alcanzar el extremo distal y emerger, parir o botar en términos bananeros (Figura 3).

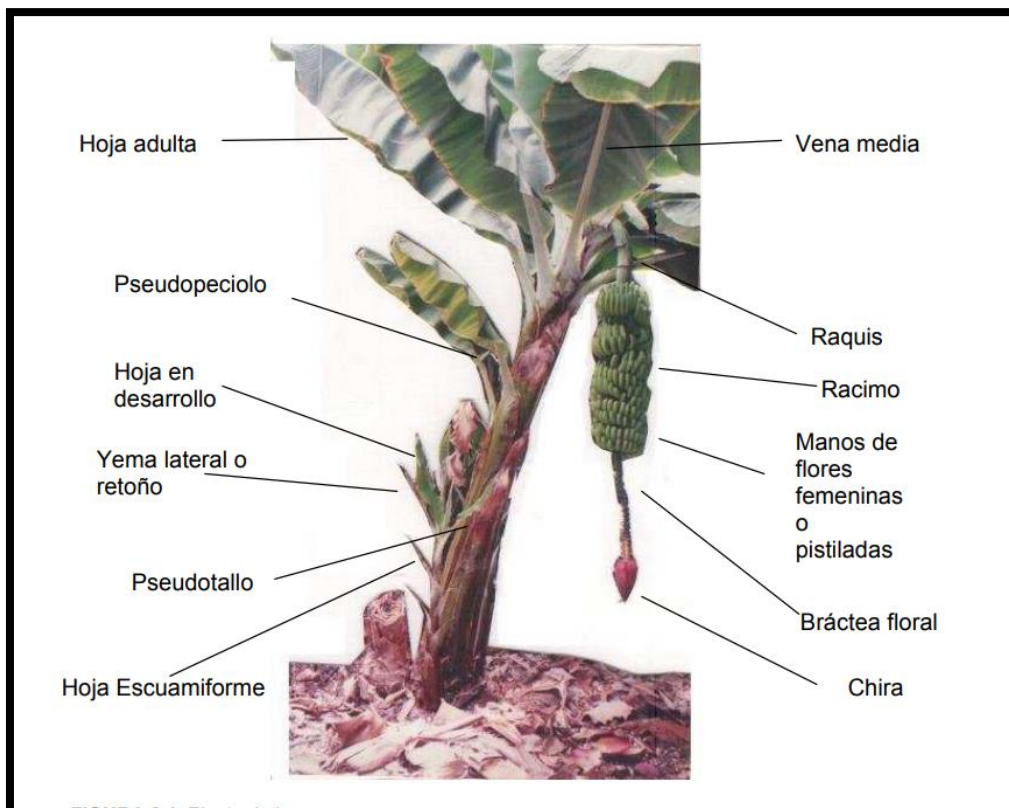


Figura 3: Anatomía de la planta de Banana (Soto Ballester, 2008)

Tiene un sistema radical primario que es reemplazado muy pronto por un sistema de raíces adventicias. Las raíces primarias se originan en la superficie del cilindro central del raquis, y las secundarias y terciarias, en las raíces primarias (Soto Ballester, 2008).

Requiere de suelos porosos, profundos, con texturas medias a ligeras; estas condiciones son comunes en los suelos bananeros de América Central, una de las causas de casi 60 ton/ha de rendimiento (Soto Ballester, 2008). En suelos duros, las raíces son delgadas y presentan ramificaciones muy finas. Son de crecimiento rápido y muy sensibles al déficit o exceso de agua, ya que el 65 % de ellas se encuentran en los primeros 30 cm de suelo. En Argentina, los suelos de producción bananera son pesados en el Noreste Argentino (NEA), limosos en Formosa y los famosos suelos colorados de Misiones; en tanto que en el NOA son arenosos, bien sueltos.

La hoja consta de base o vaina foliar, pseudopeciolo y lámina. Están distribuidas en forma de espiral, el patrón filotáxico varía en los diferentes cultivares. Las largas vainas foliares se traslapan y forman un pseudotallo robusto a través del cual crece la inflorescencia terminal (Soto Ballester, 2008).

El pseudotallo ofrece a la planta apoyo y la capacidad de almacenar reservas amiláceas e hídricas (Simmonds, 1973). Permite a la planta ganar mayor altura para la captación de luz solar, puede medir de 1,2 a 8 m de altura y 50 cm de diámetro (Moreira, 1999). La estructura es resistente y puede soportar el peso de las láminas foliares y su inflorescencia que llega hasta 75 kg (Soto Ballester, 2008).

El pseudopetiole tiene una longitud de 60 cm, surge a partir del pseudotallo hasta el despliegue de la lámina foliar donde recibe el nombre de nervadura central de la hoja, y de ésta surgen las nervaduras secundarias (Moreira, 1999). La lámina foliar puede alcanzar a medir 3 m de longitud y hasta 90 cm de ancho.

El banano tiene una inflorescencia terminal que emerge del centro del pseudotallo hasta la parte superior de las vainas (Sakai, 2010). La inflorescencia es llamada racimo o cacho y está constituida por el raquis, pencas o manos y corazón (Manica, 1997).

El pedúnculo floral es la prolongación del cilindro central del rizoma, el raquis contiene las flores; las femeninas (pistiladas) que aparecen primero aglomeradas en nódulos y protegidas por brácteas (hoja modificada) son las que desarrollan manos de frutos (Figura 4). La porción distal de la inflorescencia se alarga y produce grupos de flores masculinas (estaminadas) que constituyen el botón floral o corazón (Robinson y Galán Saúco, 2010).

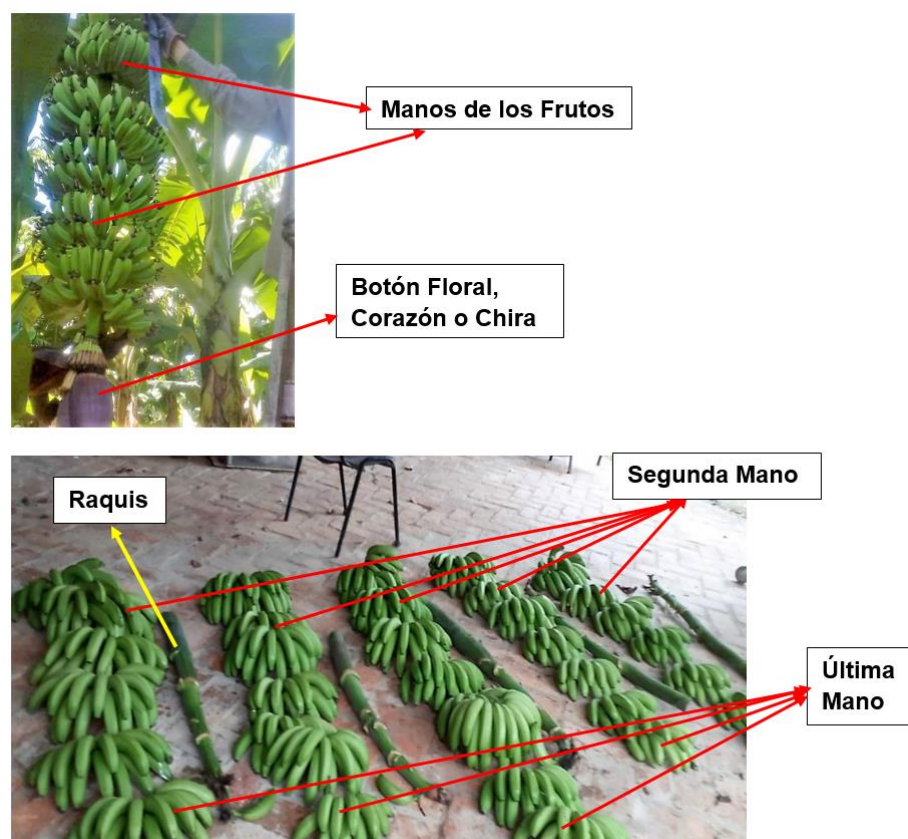


Figura 4: Racimo o “Cacho” como lo denominan los productores y sus partes. En la imagen superior, el momento en que se trabaja, desmane, deschire y embolsa (fecha que representa la variable semana de embolsado). En la imagen inferior, cinco líneas cosechadas y listas para evaluar manos y raquis.

El fruto es una baya alargada donde el epicarpio constituye la cáscara y el mesocarpio la pulpa (Manica, 1997). El desarrollo del fruto de banano es partenocárpico, la polinización no tiene efecto sobre su desarrollo, exceptuando que propicia el desarrollo del ovario. El hecho de que la mayoría de los frutos de banano sean estériles, es decir sin semillas, se debe a un complejo de causas, aparentemente los genes específicos de esterilidad femenina, la triploidía y el cambio estructural cromosómico sean todos responsables en distintos grados de la esterilidad (Soto Ballester, 2008). Según Soto (2008), citando a Lassoudiere (1978), en el caso de los bananos Cavendish, nunca se logró obtener semillas mediante polinización experimental.

Condiciones climáticas

El banano es una planta que se desarrolla en condiciones óptimas en las regiones tropicales, húmedas y cálidas. La ubicación geográfica natural se encuentra entre los 30° de latitud norte y sur del Ecuador, siendo las óptimas entre los 0° y 15°. Latitudes superiores requieren tecnologías e inversiones para producir adecuadamente (Robinson y Galán Saúco, 2012; Soto Ballester, 2008; Medina, 1978). Los principales factores que influyen el desarrollo del banano son altitud, temperatura, precipitaciones y vientos (Sakai, 2010).

La altitud tiene una enorme influencia en el desarrollo y cosecha del banano y el límite de 300 msnm es muy importante. Según Soto (2008), citando a Tai (1977), menciona que las variaciones hacia arriba en altitud, modifican de manera muy notoria los hábitos de crecimiento y desarrollo en las plantas del banano, prolongan la duración del ciclo biológico.

La temperatura tiene un efecto preponderante sobre el desarrollo y crecimiento del banano, en general puede decirse que tiene límites térmicos muy estrechos, a 30° C el crecimiento es máximo, a 34 °C disminuye y temperaturas de alrededor de 40 °C daña gravemente las raíces secundarias de las plantas (Soto Ballester, 2008).

Las bajas temperaturas causan graves problemas en el desarrollo de la planta, cuando las temperaturas son inferiores a los 16° C aparece una coloración amarilla en algunas hojas, con temperaturas de 5° o 6 °C provoca amarillamiento generalizado en toda la planta y muerte prematura.

Cuando la diferenciación floral ocurre con temperaturas bajas, los racimos que se forman son pequeños, con menor número de manos y dedos más chicos dando una calidad comercial que no es adecuada para mercados exigentes (Robinson y Galán Saúco, 2012). En el caso de que las bajas temperaturas afecten la emisión de hojas, se forma en el extremo superior del pseudotallo una roseta (pecíolos y hojas compactadas) que dificulta o impide, dependiendo de la intensidad del invierno, la emergencia de la inflorescencia.

Si la baja temperatura sucede después de la floración se produce un aumento en el tiempo necesario para que el fruto alcance su grado comercial de cosecha. Temperaturas cercanas a los 10° C enfrían el suelo de tal forma que se daña gravemente el sistema radical (Robinson y Galán Saúco, 2012; Soto Ballester, 2008). A temperaturas de 0° C por períodos prolongados, se pierde totalmente el sistema foliar, pero el rizoma sobrevive y las yemas siguen aptas para desarrollarse cuando las condiciones vuelvan a la normalidad para el cultivo (Robinson y Galán Saúco, 2012; Soto Ballester, 2008).

Las temperaturas elevadas extremas (superior a los 35 °C), frecuentes en los subtrópicos, se inicia un marchitamiento temporal, que produce una disminución del rendimiento por reducción de la fotosíntesis. Si la temperatura llega o sobrepasa los 40 °C,

con baja humedad ambiental, se puede llegar en hoja hasta los 47 °C y produce necrosis de tejido. Los racimos expuestos a la radiación directa, en especial el pedúnculo y las manos expuestas, que se necrosan en la superficie (Robinson y Galán Saúco, 2012).

En cuanto a las precipitaciones, el cultivo de banano requiere una gran cantidad y distribución de agua de manera permanente. Para la obtención de cosechas económicamente rentables, se considera suficiente suministrar de 100 a 180 mm de agua por mes, tanto el exceso como la falta de agua, hacen que el sistema radical se afecte severamente provocando un desbalance hormonal y con ello un desequilibrio en el desarrollo foliar (Soto Ballester, 2008).

Se podría suponer que las regiones tropicales con 4.000 mm de precipitación anual, el potencial del cultivo de banana se expresaría de forma adecuada, sin embargo, el exceso trae aparejados otros problemas, como acidez de suelo, lixiviación de fertilizantes, suelos ácidos, falta de drenajes y condiciones predisponentes para las enfermedades (Robinson y Galán Saúco, 2012). La situación más frecuente es la que se observa en aquellas áreas de producción que tienen 1.300 a 1.600 mm de precipitación anual, suficiente para cubrir las necesidades hídricas del banano, si estuviesen bien distribuidas, pero debido a la falta de uniformidad, se provocan déficits hídricos estacionales por períodos de 3 o 4 meses que deben ser cubiertos con riego suplementario para potenciar el rendimiento (Robinson y Galán Saúco, 2012).

El viento es un factor de producción muy importante en las plantaciones de banano y pueden causar diferentes daños, desde fisiológicos hasta mecánicos.

En el aspecto fisiológico afecta la transpiración y la temperatura de la hoja. La intensidad del viento en un ambiente con baja humedad relativa, provoca una disminución y renovación constante de la capa exterior de aire inmediatamente adyacente en la hoja, lo cual provoca estrés en la hoja.

Los vientos intensos, con ráfagas que alcancen los 50 km/h producen caídas de plantas o vuelco, en tanto que, con intensidad menores provocan un daño mecánico en las hojas, a las cuales desgarran en tiras o hilachas, que pueden variar desde 5 cm hasta 2,5 cm de ancho. Estos deshilachados de las hojas producen una reducción de la eficiencia fotosintética que, en tiras de 2,5 cm puede llegar al 20 %, con la consiguiente reducción en el rendimiento (Robinson y Galán Saúco, 2012).

Clasificación Botánica

El banano es una especie monocotiledónea. Está situada dentro del orden Escitamineas el cual posee seis familias, Strelitziaceae, Lowiaceaceae, Zingiberaceae, Marantaceae, Carnaceae y Musaceae; esta última tiene dos géneros *Musa* y *Ensete*. La composición genómica de la especie del banano es diploide pero la banana comestible es, en su mayoría, autotriploide.

Los cultivares de banano presentan tres niveles cromosómicos distintos, diploide, triploide y tetraploide, con dos, tres o cuatro grupos de cromosomas básicos del genoma de $x = n = 11$. En la evolución de la banana comestible participaron principalmente las especies diploides *M. acuminata* y *M. balbisiana*. Estos genomas son denominados por las letras A (*M. acuminata*) y B (*M. balbisiana*).

La mayoría de los bananos comestibles en el mundo son el resultado de selección de variaciones que se han producido de manera espontánea, muchas de estas se manifiestan como mutaciones heredables en la descendencia. Cuatro factores principales, propagación vegetativa, partenocarpia, esterilidad y la poliploidía, contribuyen a la evolución del cultivo (Soto Ballesteros, 2008; de Oliveira e Silva et al., 2001).

Esta evolución ocurrió en cuatro etapas reiteradas en el tiempo. La primera fue la ocurrencia por mutación de la partenocarpia en *M. acuminata*, en su forma original los frutos poseen semillas grandes y duras que hacen muy difícil su consumo. La segunda etapa se caracteriza por la hibridación de grupos AA (*M. acuminata*) y plantas silvestres del grupo BB (*M. balbisiana*). La tercera y cuarta etapa de la evolución son admitidas basándose en la capacidad de algunas plantas de generar, en baja frecuencia, una proporción de óvulos viables, sin la meiosis típica, con la misma constitución genética de la planta madre. A través de cruzamientos espontáneos de los grupos AA con grupos AA y AB, se tornó posible la evolución por la adición de un grupo de cromosomas a la triploidía AAA, AAB y ABB, de la misma forma en los tetraploides AAAA, AAAB, AABB y ABBB. Es muy importante destacar que todos los grupos fueron encontrados en formas silvestres, salvo el grupo AAAA que solo fue obtenido en forma experimental (Soto Ballesteros, 2008).

Los autores Simmonds y Shepherd (1955) poseen uno de los trabajos más relevantes y citados en la clasificación de banana. Este trabajo rechaza las nomenclaturas linneanas de *Musa paradisiaca* y *Musa sapientum*, por considerarlas parte de los híbridos comestible generados a partir de *Musa acuminata* Colla 1820. Recientemente, el autor Wang (2019) plantea que las especies silvestres de bananos y plátanos se han subdividido tradicionalmente en cuatro secciones: *Eumusa* ($x = 11$; x representa el número básico de cromosomas), *Rhodochlamys* ($x = 11$), *Australimusa* ($x = 10$) y *Callimusa* ($x = 9$ o 10). Al presente, dos

secciones (*Rhodochlamys* y *Australimusa*) se fusionaron en *Eumusa* y *Callimusa* respectivamente.

Igualmente, la mayoría de los plátanos comestibles pertenecen a la sección *Eumusa* (o *Musa*). Además, Wang (2019) menciona que los plátanos y bananos de esta sección se distinguen según su origen genético como: *Musa acuminata* (genoma A, $2n = 2x = 22$; n representa el número de cromosomas al estado haploide) o *Musa balbisiana* (genoma B, $2n = 2x = 22$) como muestra la Figura 5. Asimismo, el autor suma a *Musa schizocarpa* (genoma S, $2n = 2x = 22$) y especies de *Musa* sección *Australimusa* (genoma T, $2n = 2x = 20$).

En esta Tesis, se trabajó con el subgrupo Cavendish, autotriploide que proviene de la poliploidía de la especie diploide de genoma A. La especie se encuentra nombrada generalmente como: *Musa paradisiaca* L (descrita por Carlos Linneo 1753), *Musa acuminata* Colla 1820 (sistema APG) o simplemente *Musa acuminata* (Simmonds y Shepherd, 1955).

Dado que diferentes poliploides se han expandidos mundialmente, se ha aceptado que los cultivares de bananos y plátanos se deben nombrar de la siguiente manera: primero, con el género *Musa* y seguido de un código que indique el grupo genómico y nivel de ploidía. Luego, el subgrupo y si es posible el cultivar indicando (Robinson y Galán Saúco, 2012). Por ejemplo: *Musa* AAA (subgrupo 'Cavendish') 'Williams'.

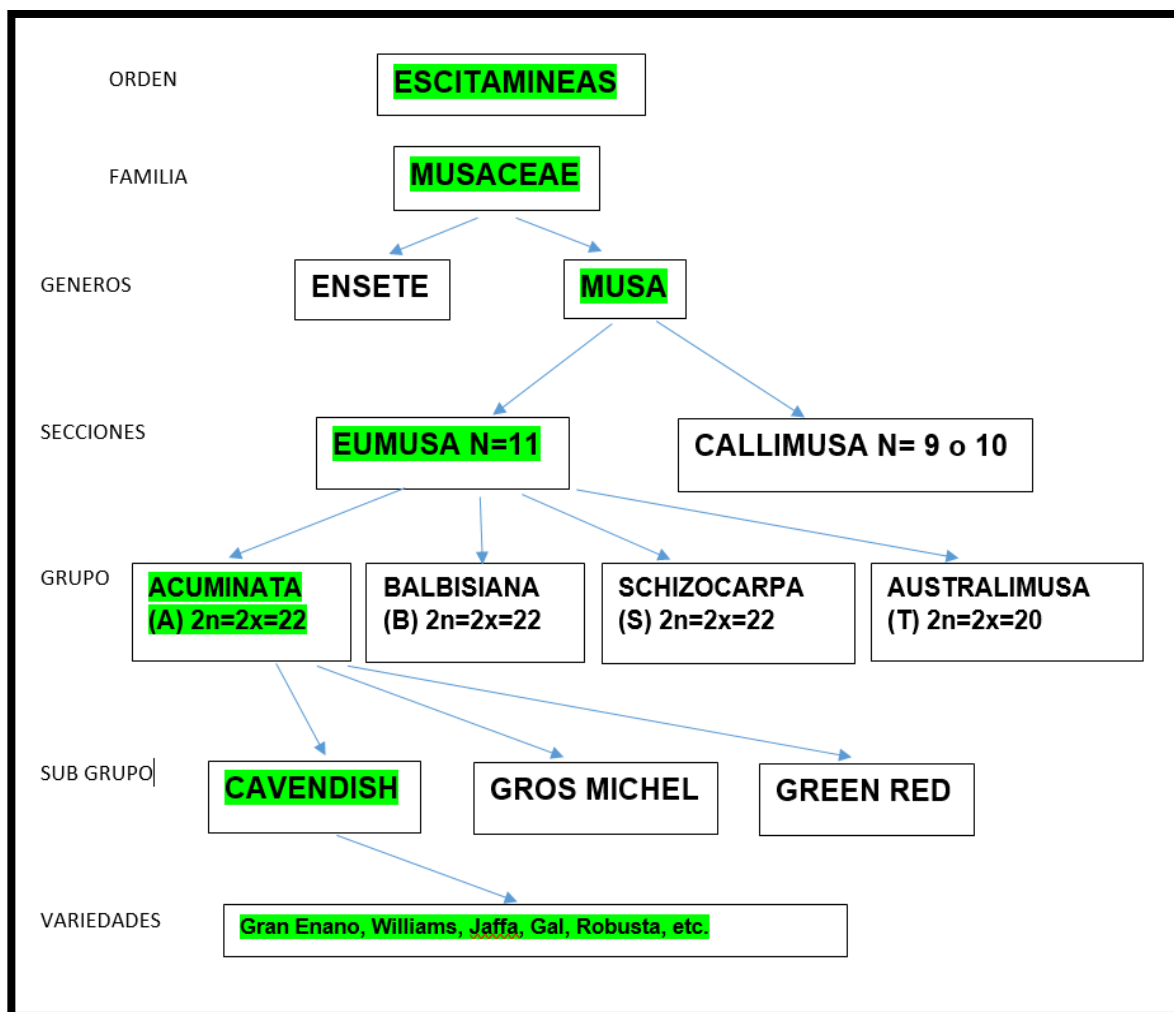


Figura 5: Posición taxonómica de la familia Musaceae.

El Cultivo en Argentina

La primera referencia sobre producción de banano (*Musa* AAA) en la Argentina data del año 1915 en la Localidad de Calilegua, Provincia de Jujuy; sin embargo, no es hasta el año 1960 donde la producción de las regiones subtropicales adquiere importancia comercial en el país (Berardi, 1971). El crecimiento en el área de cultivo se produjo con la introducción de hijuelos y rizomas desde Paraguay, sin ningún tipo de control en la identificación y condición fitosanitaria, a través de las familias que emigraban hacia la Argentina.

La producción comercial de banana en nuestro país, se concentra en dos regiones subtropicales (Figura 6):

- la región NEA abarca la provincia de Formosa, siendo el epicentro de producción la localidad de Laguna Naick-Neck, a partir del año 1955 se tenían plantaciones a nivel familiar y a principios de la década de 1960 experimentó un crecimiento vertiginoso para alcanzar las

7.500 ha en la década del setenta (Mazacotte et al, 2011), posteriormente fue retrocediendo hasta alcanzar las 1.100 ha en la actualidad con un rendimiento entre 16 y 18 ton/ha (datos no publicados); y la provincia de Misiones, que empezó a desarrollar el cultivo hace menos de una década y cuenta con una superficie de 300 ha distribuidas en dos áreas de la provincia, la mayor parte en la localidad de Almafuerte y ciudades costeras del río Uruguay y en el norte, la localidad Comandante Andresito, con rendimiento de 8 ton/ha, sin embargo, hay productores que alcanzan las 18 ton/ha (datos no publicados).

- la región NOA formada por las provincias de Salta, en las localidades de Orán y Colonia Santa Rosa, como las principales representantes y, Jujuy en las ciudades de Yuto, Fraile Pintado y Palma Sola. En ésta región, la producción comenzó en 1935 con cien cepas del bananero procedentes de las Islas Canarias y en la primera mitad de la década del sesenta se difundió como cultivo con importancia económica en la región subtropical de Salta y Jujuy (Arroyo y Rodríguez, 2005). En la actualidad la superficie supera las 3.000 ha con un rendimiento de 20 ton/ha (datos no publicados).

Las condiciones económicas de los últimos siete u ocho años, sumado a la severidad del fenómeno La Niña ha impulsado a muchos productores a poner el cultivo en espera hasta que mejoren las condiciones. La superficie con plantas de banana se mantiene, pero no concuerdan con las que se trabajan como un “cultivo de banana”, para lograr cantidad y por, sobre todo, calidad comercial requerida para llegar a los mercados regionales y nacionales.

Es la fruta más consumida en la Argentina, con un promedio de ingesta anual de alrededor de 12 kg por habitante. Casi el 80 % del abastecimiento de nuestro país es importado (SENASA, 2021).

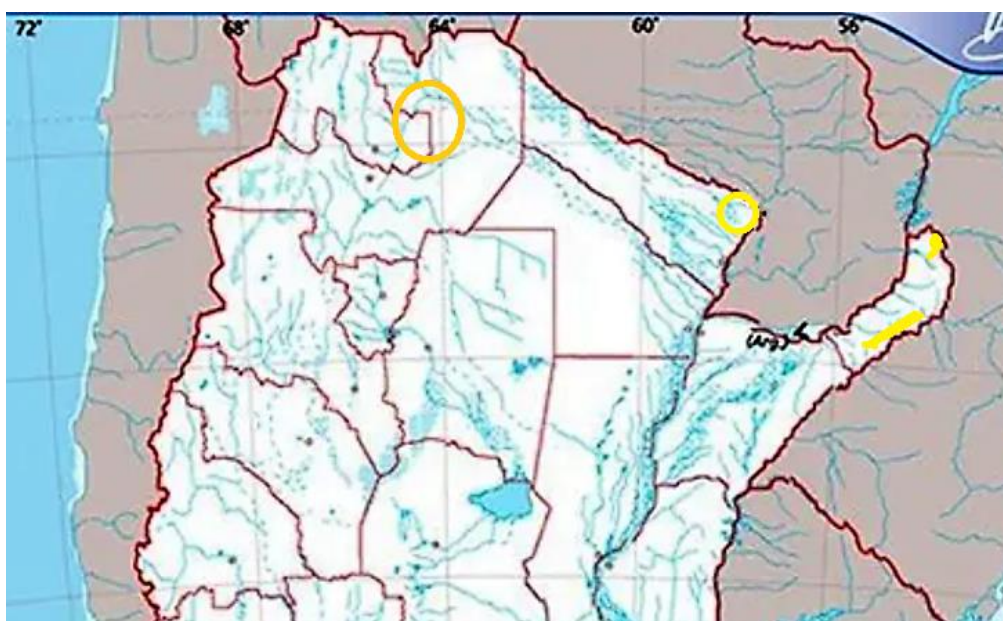


Figura 6: Ubicación de las regiones productoras de la República Argentina.

El cultivo en la provincia de Formosa

La región subtropical húmeda de la provincia de Formosa, ubicada en el Nordeste Argentino (lat -25,2024130°; log -58.1212980°), presenta una zona que permite el desarrollo económico del cultivo de banana, pese a las condiciones invernales que afectan el cultivo.

La característica del área que permite la producción de cultivos tropicales es la cantidad de espejos de agua (ríos, riachos, esteros y lagunas), que trabajan como buffers de la temperatura, almacenando durante el día y emitiendo calor durante la noche. Esta área tiene una superficie potencial de 12.000 a 15.000 hectáreas útiles para el cultivo de banana (Figura 7).

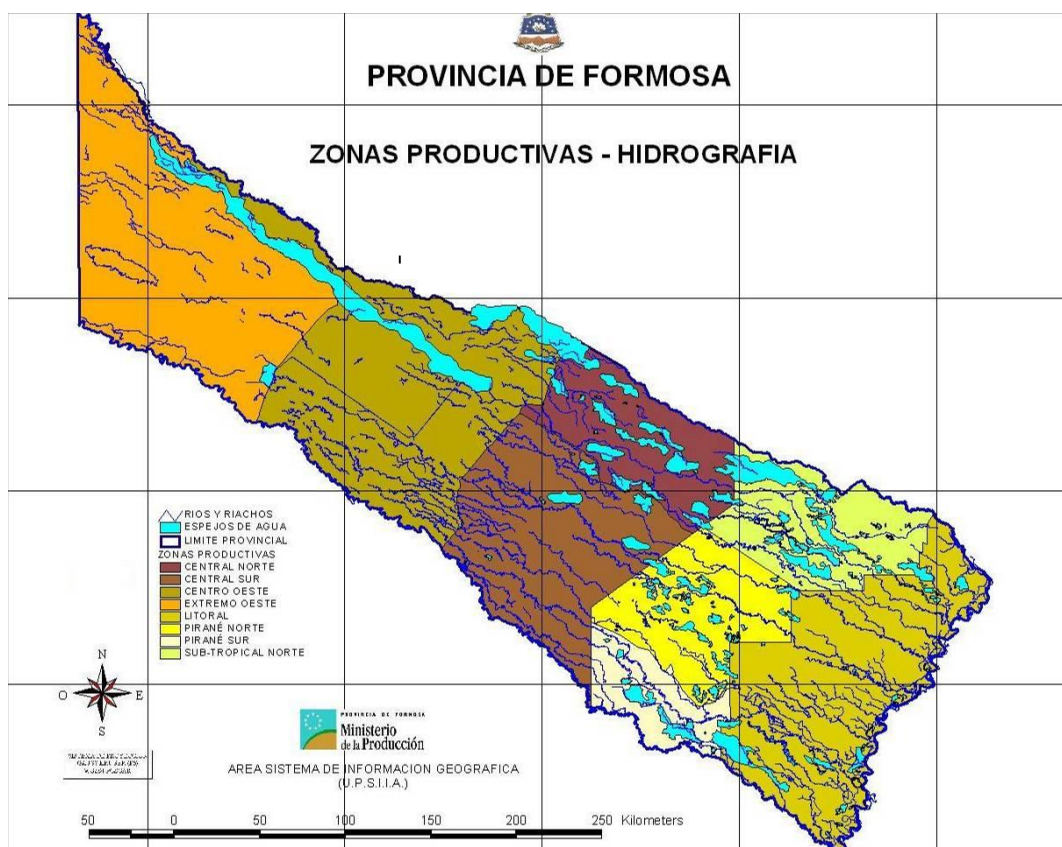


Figura 7: Ríos, esteros, lagos y lagunas que caracterizan la región productora de Formosa.

Los promedios de temperaturas y precipitaciones superan los requerimientos mensuales para obtener buenos rendimientos, salvo en el período invernal cuando las temperaturas disminuyen hasta casi detener el crecimiento y desarrollo del cultivo (Figura 8).

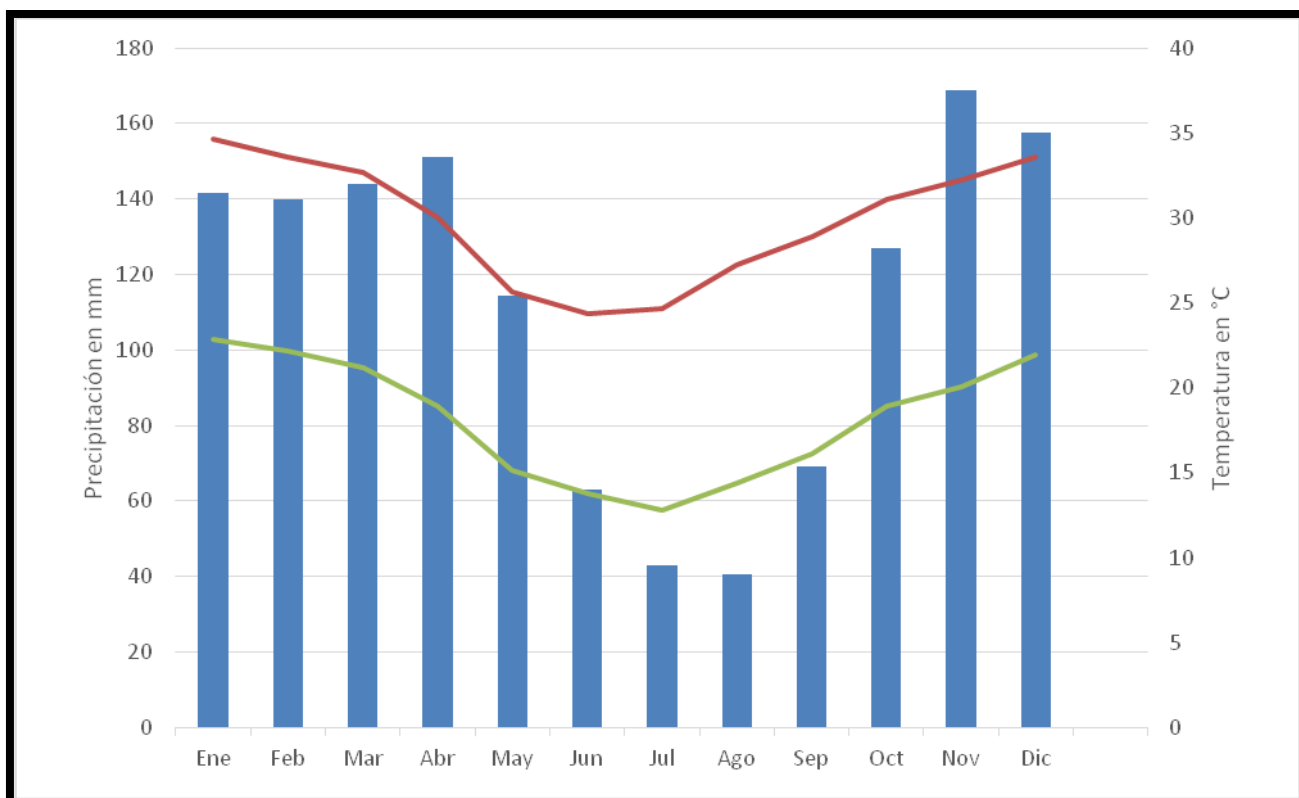


Figura 8: Precipitaciones medias mensuales, serie de datos 1985-2022, Laguna Naick-Neck, Formosa; fuente AIPAF NEA y temperaturas medias y mínimas mensuales serie 1985-2022, fuente Aeropuerto Asunción (Datos clima, 2022).

Sin embargo, cuando se desmenuzan esos promedios, la variabilidad de los datos entre los años, tanto de temperaturas como de precipitaciones son enormes, haciendo diferente cada campaña, según el número de heladas que enfrentemos y la distribución de la lluvia (Figura 9). Las heladas que se presentan son agronómicas, de uno a dos grados bajo cero y de muy corta duración, concentradas en el mes de julio. El área de producción tiene una media de 6,6 heladas por año (serie 1985-2022); la fecha extrema de la primera helada, el 8 de mayo del 2020; fecha media de la primera helada el 24 de junio; fecha media de la última helada 8 de agosto y fecha extrema de la última helada el 23 de septiembre del 2007. Las temperaturas estivales superan los 40 °C en muchos días de ese período.

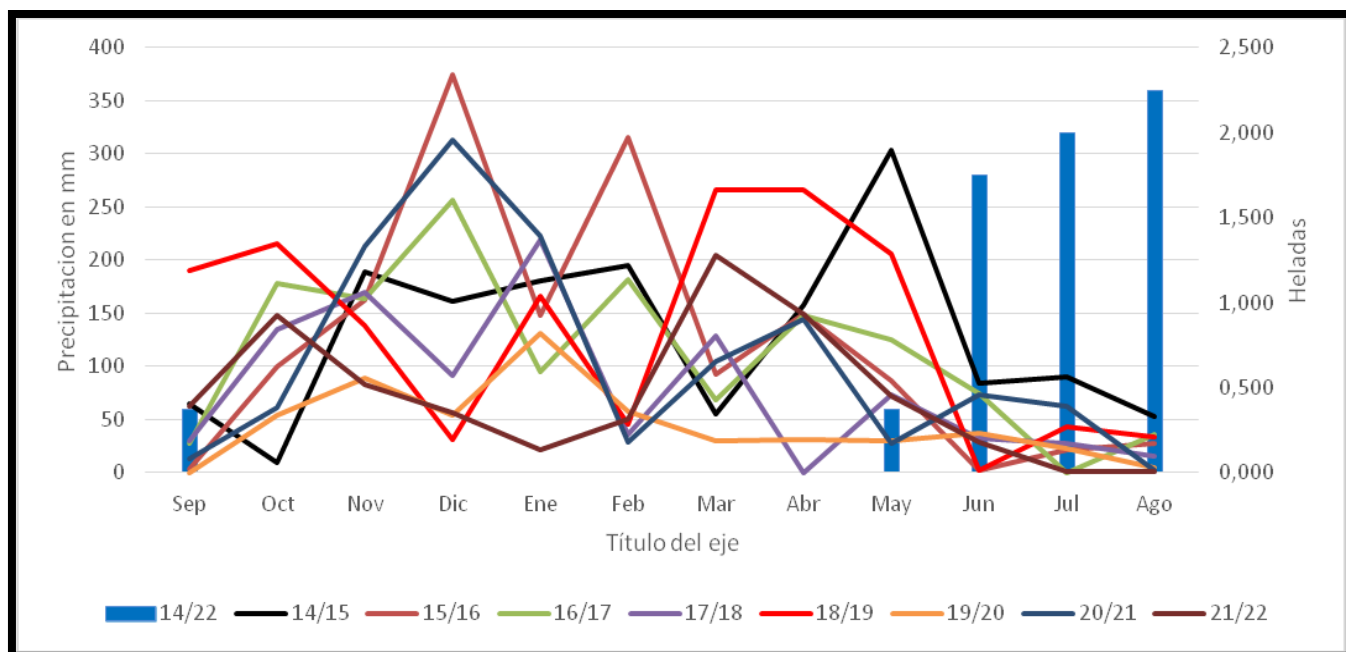


Figura 9: Distribución de las precipitaciones (en curvas) y frecuencia de heladas (en barras) durante los ciclos de cultivo en que se desarrolló el Ensayo.

La producción se maneja en forma totalmente extensiva, no ha incorporado tecnología de manejo y/o pos cosecha y la multiplicación de lotes la realiza el productor, seleccionando las plantas más sobresalientes de su campo (Colque y Tenaglia, 2009). Este trabajo empírico que se viene realizando en los últimos 60 años, ha permitido al material introducido adaptarse a las condiciones ambientales de la región para este cultivo tropical.

En el presente existe una enorme variabilidad, con plantas de diferentes ciclos, alturas, formas de manos, rendimiento, sabor, etc. Estos recursos genéticos, que no han sido caracterizados previamente, constituyen una enorme posibilidad de encontrar genotipos superiores, tolerantes, rendidores y de un sabor superior al producto que se importa de los países tropicales. Sin embargo, para poder ser utilizados, deben ser identificados y caracterizados en su respuesta frente a los factores abióticos (frío, heladas, salinidad de suelo, stress hídrico y viento), bióticos (Sigatoka amarilla, picudo del banano) más relevantes de la región de producción y a la introducción de nuevas técnicas de manejo (Gubbuk et al., 2004).

En la actualidad los problemas y limitaciones que se presentan en la producción bananera de Formosa son los siguientes: ineficiencia de la producción agrícola, la incapacidad de medir y monitorear los costos, la falta de documentación de producción, el nivel de conocimiento requerido en términos de tecnología de producción y de principios básicos de gestión.

La información referente a la diversidad genética, su caracterización y conservación permite definir un sistema de producción más eficiente, con ciclos y densidades ajustadas según el material, para cada zona de producción.

En la selección de material genético de cultivos perennes como en el caso de los frutales, es necesario tener en cuenta los efectos provocados por el Cambio Climático (CC), que se vuelven relevantes en este tipo de producción, en la que el horizonte de un programa está a 20 o 30 años. El efecto más evidente del CC está en la temperatura media global que se espera aumente entre 0,9 y 3,5 °C, según el escenario (concentración de gases de efecto invernadero) que utilice el modelo y se espera que la variabilidad y la intensidad de las lluvias sea alta para el año 2100 (Priyanka et al., 2020). En principio, si las predicciones se efectivizan, los subtropicos se convertirán en zonas más aptas para la producción de banana, pero con presencia de inviernos cortos y pocos días muy fríos (Figura 10). Se reconoce inequívocamente la creciente variabilidad climática con el cambio de clima (Jarvis et al., 2008; Priyanka et al., 2020).

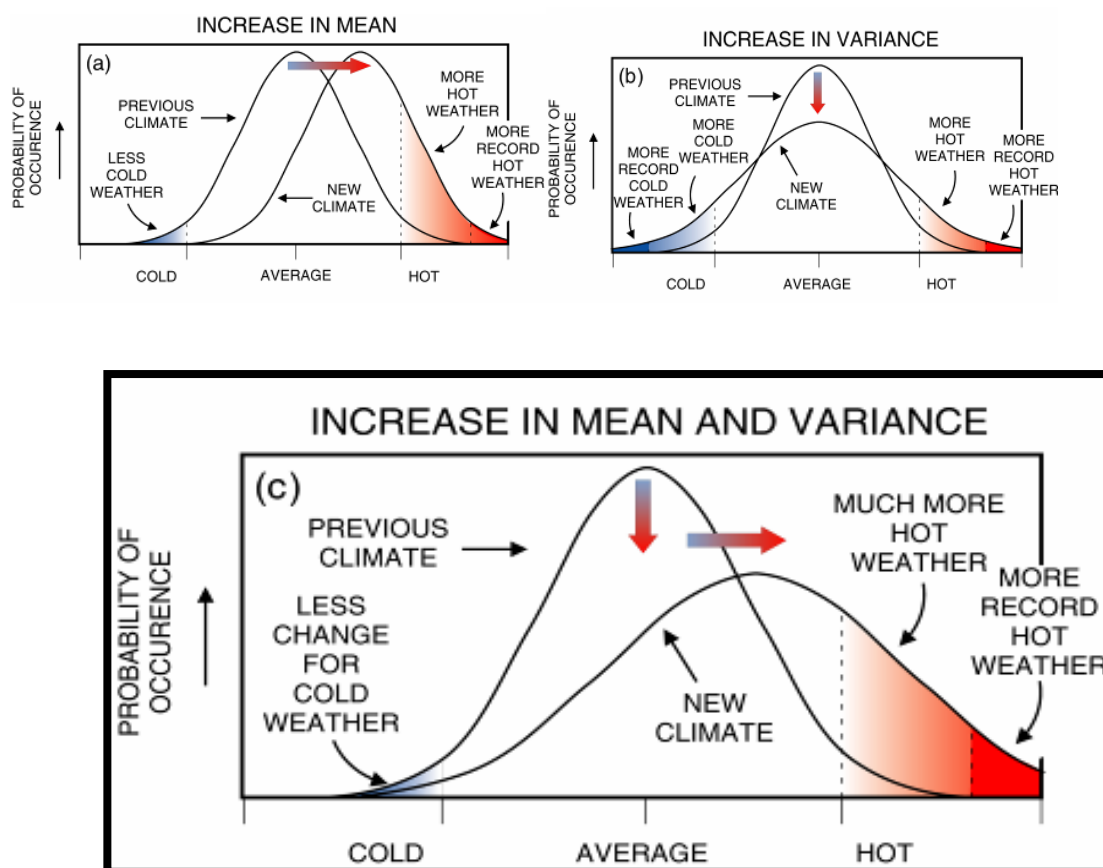


Figura 10: Gráficos extraídos de Jarvis et al., 2008. "Impactos e implicaciones de cambio climático para el sector bananero". Brasil 2008.

Los modelos para nuestra región muestran un efecto positivo del cambio climático sobre los rendimientos en el cultivo de banana, pero debe ir acompañado con aplicación adecuada de la tecnología; incluso en una pequeña desviación del clima normal, la ineficiencia en la aplicación o utilización de los insumos y/o tecnología, puede afectar gravemente la producción. Consecuentemente, la capacidad en aprovechar los beneficios de las condiciones climáticas, cada vez más adecuadas para el cultivo del banano y/o mitigar cambios futuros, depende en gran medida, de cómo se invierta para mantener y mejorar la eficiencia de un cultivo (Varma y Bebbber, 2019; Priyanka et al., 2020). Combinar las mejoras pronosticados en el rendimiento, impulsadas por el clima, con la aplicación de tecnología adecuada, representan la capacidad de un país para adaptarse a los riesgos de producción en el futuro.

Antecedentes directos de este trabajo de Tesis

Se inició el proyecto con el seguimiento y evaluación de lotes en producción, en su gran mayoría Agricultores Familiares, qué tipo de plantas tenían, manejo (desbrote, deshoje, fertilización), control de enfermedades y una relativa estabilidad de rendimiento de cada lote durante la etapa comprendida entre el 2005 y el 2011. Desde la gestión del proyecto, se hizo en esta etapa una revisión bibliográfica exhaustiva pues, dado que se trata de un cultivo novedoso, fue necesario profundizar los conocimientos sobre el mismo y especialmente la relación con el ambiente sobre el cual se trabajaba.

Entre marzo y abril de 2012 se marcaron en la región subtropical norte de Formosa 684 plantas dentro de 84 lotes. Sobre estos clones marcados en el campo, se registraron valores de las variables vegetativas (altura, diámetro de pseudotallo, números de hojas a floración y cosecha) y de producción (número de manos, peso del cacho) durante tres ciclos productivos.

La cuantificación de la diversidad molecular de los clones de banana, a través de una Análisis Molecular de la Variancia (AMOVA), evidencia que existe una amplia variabilidad genética en ambos niveles, entre y dentro de productores y las variaciones dentro resultan mucho mayores a las variaciones entre productores (Ermini et al., 2013; Ermini et al., 2016). Esta distribución de la diversidad detectada permitió un cambio de estrategia en la selección de clones, de muchos lotes distribuidos por toda la región, a pocos lotes y una alta intensidad dentro de ellos.

En el inicio de la campaña 2014 – 2015 se seleccionaron 140 clones sobre el total de plantas marcadas en base a tres criterios básicos:

Resiliencia, es decir, aquéllos que mantuvieron un rinde alto durante todos los ciclos productivos (2005 – 2014), soportando cambios sin importar la dirección de los mismos, años

con heladas intensas, sin heladas, secos, muy lluviosos y todas las condiciones que afrontaron. Con este criterio, se buscaron clones que tengan buen rendimiento a lo largo del tiempo, asegurando estabilidad en la producción al agricultor familiar.

Rendimiento y forma de las manos. Los cachos de los clones seleccionados permiten completar una caja de fruta empacada, deben mantener la relación cacho/caja en uno, lo que disminuye los tiempos operativos en el lote y empaque, mejorando la rentabilidad. La forma de la mano, debe permitir un empaque adecuado, seleccionando forma y distancia entre manos.

Resistencia o tolerancia a la principal enfermedad del banano en Formosa, la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) y altura de las plantas, no solo para evitar el riesgo del vuelco, sino por la disminución de los tiempos operativos de trabajo sobre la planta, cacho y facilidad en la cosecha. Es importante destacar que el aumento del rendimiento es dificultado por el invierno, que pone un techo a la producción en ton/ha. Para aumentar la rentabilidad del cultivo, debemos bajar los costos, con materiales tolerantes y/o resistentes y disminuir los tiempos operativos.

Estos clones seleccionados, 140 sobre el total de 684, fueron identificados con el año de selección (2014) y un número de orden, así arrancamos desde el 14001 hasta el 14140.

En las etapas preliminares de un programa se evalúa un gran número de clones (100 o más) para determinar cuáles se seleccionarán para realizar más pruebas. Un factor limitante importante para probar el potencial de rendimiento del banano es la superficie, cada planta requiere al menos 6 m² (Ortiz y Vuylsteke, 1995) y en nuestra región hay que sumar los años, no se alcanza la máxima expresión del clon, hasta la segunda y/o tercera campaña, según la severidad del invierno, aumentando los costos de manera exponencial.

Dentro de los diseños, el aumentado es el que mejor se adecua al material vegetal disponible, midiendo también la interacción genotipo x año por sus efectos sobre la estabilidad. Así, en septiembre de 2014 se implantó un ensayo de evaluación en un ambiente único, con un diseño estadístico aumentado (Nokoe y Ortiz, 1998; Ortiz y Couwer, 1998).

El ensayo se lleva adelante en el campo experimental del Área de Investigación y desarrollo tecnológico Para la Agricultura Familiar del Noreste Argentino (AIPAF NEA – INTA), ubicado en Laguna Naick-Neck, provincia de Formosa (lat -25,2024130°; log -58.1212980°); sobre un suelo Hapludol típico, que tienen como las principales limitaciones la salinización y su alto tenor de limo. El contenido de sales solubles en general es alto, la predominancia de calcio (Ca) en relación al contenido de sodio (Na), es una circunstancia favorable para el mantenimiento de la estabilidad estructural. Son suelos ricos en fósforo (P) y moderados en el contenido de potasio (K). No se evidencian limitaciones mecánicas severas hasta la profundidad de 3 metros. Sin embargo, la abundancia de limo, hasta un 80% en la fracción

textural, marca la susceptibilidad a problemáticas de encostramientos y/o densificaciones subsuperficiales si el manejo no es adecuado (Lanfranco et al., 2010).

El marco de plantación es de doble surco, dos metros entre las líneas del doble surco, tres metros entre ellos y en la distancia entre plantas, dos metros (Figura 11). Hace un total de 1.700 plantas por hectáreas cuando descontamos los caminos para aplicar fungicidas y cosechar las frutas. Se eligió este sistema con la intención de trabajar con riego en el futuro.



Figura 11: Marco de plantación del Ensayo Comparativo de Rendimiento y conducción del ensayo durante la campaña 2017 – 2018.

La campaña de implantación del ECR 2014-2015, fue atípica, no hubo heladas, las precipitaciones estuvieron por arriba de la media y bien distribuidas, esto permitió arrancar de manera excelente, equiparando a todos los clones para el ciclo siguiente; los mismos provenían de productores, manejo y especialmente, tamaño de brotes diferentes, que influyen en la cantidad de reservas disponibles para rebrotar.

Las tres campañas siguientes (2015-2016; 2016-2017 y 2017-2018) fueron normales desde el punto de vista climático, dentro de las medias de temperaturas y precipitaciones. El ciclo productivo 2019-2020, cuando se iniciaba La Niña, cambió de manera brusca, solo hubo 544 mm de precipitación y heladas de larga duración, que afectaron sobre manera el cultivo, pero se redujo poco el rendimiento, porque probablemente las reservas acumuladas en el pseudotallo, compensaron el mal año climático. Los ciclos 2020-2021 y 2021-2022 el efecto de La Niña deterioró el cultivo, cayendo de forma muy marcada el porcentaje de plantas cosechadas y el rendimiento de cada una de ellas (Figura 12).

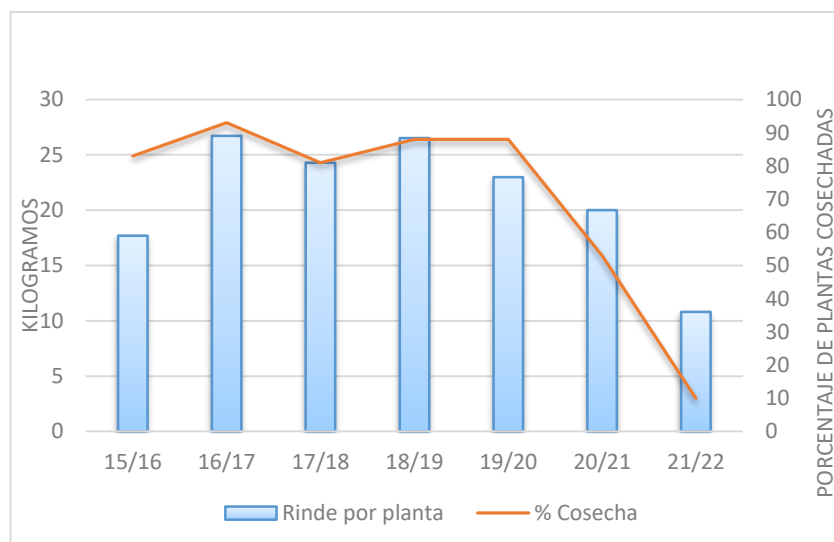


Figura 12: Rendimiento en kg/planta y porcentaje de plantas cosechas durante el desarrollo del ensayo. En los últimos tres ciclos de producción, cae de manera marcada el rendimiento por planta, pero más aún la cantidad de plantas cosechadas.

En este contexto, dado que el fenotipo es el resultado de la interacción entre el genotipo y el ambiente, y considerando que los genotipos a evaluar son desconocidos y el ambiente es muy heterogéneo, es necesario caracterizar la diversidad genética de los clones recolectados utilizando técnicas moleculares. Además, se deben evaluar los fenotipos en un ambiente común con un diseño experimental adecuado que permita revelar las diferencias genéticas (Figura 13). Con esta evaluación metódica y rigurosa, se podrán seleccionar con mayor certidumbre los clones para constituir una variedad de origen nacional, estable y adaptada a la región.

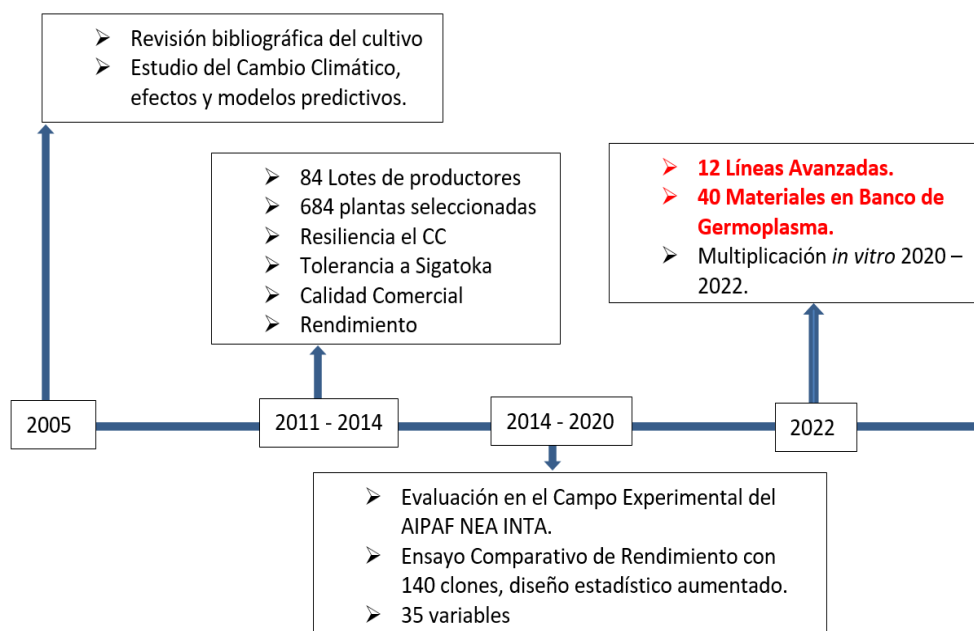


Figura 13: Línea de tiempo del programa de mejoramiento genético

En relación a la caracterización directa de los genotipos, en el presente, los marcadores moleculares (RFLP, RAPD, VNTR, SSR, AFLP) son una herramienta elemental para la caracterización de la diversidad genética (Gonzaga Gutiérrez, 2004). El uso de distintas técnicas es común en todos los cultivos e inclusive para separar líneas muy relacionadas, hasta aquellas mutaciones somaclonales ocurridas en la multiplicación in vitro dentro de una misma línea (Vendrame et al., 1999).

La utilización de polimorfismo por amplificación de longitud de fragmentos (AFLP) (*Amplified Fragment Length Polymorphism*), para estos fines ha sido ampliamente evaluada en diversos cultivos y por diferentes autores (Gonzaga Gutiérrez, 2004; Murtaza, 2006; Al-Saady et al., 2010), demostrado ser una técnica relativamente fácil de ejecutar, reproducible y que utiliza pequeñas cantidades de ADN. Comparando con otros marcadores, brindan similar nivel de estimaciones de distancia genética entre clones (García et al., 2004). Esta técnica ha permitido la discriminación entre los clones de banana de la provincia de Formosa (Ermini et al., 2013). En consecuencia, dentro de las técnicas moleculares, se ha demostrado que el AFLP es adecuado para discriminar entre genotipos de banana.

La pérdida de biodiversidad causada por la tala de vegetación, la destrucción del hábitat, las calamidades naturales como La Niña y las vicisitudes económicas de nuestro país, están resultando en la erosión genética del cultivo de banana. Es inevitable reconocer que la prospección, recolección, caracterización, evaluación, conservación y documentación de los

recursos fitogenéticos para la agricultura son esenciales para alcanzar un desarrollo agrícola sostenible (Madariaga y Catalán 2020).

El reconocimiento de la diversidad genética en un territorio es el punto de partida para la implementación de programas de conservación de los recursos fitogenéticos, en especial en esta región, donde aún no se liberaron cultivares y se mantiene la diversidad en los lotes de los agricultores familiares. Partiendo de este reconocimiento, se necesita trabajar para salvaguardar la adaptabilidad y resistencia al estrés biótico y abiótico, y pueda estar disponibles como fuente de material genético en los programas de mejoramiento de bananos.

HIPÓTESIS, OBJETIVOS GENERALES Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

HIPÓTESIS

Dentro de la biodiversidad detectada mediante la caracterización fenotípica y genotípica de clones de banana recolectados en campos de productores formoseños, se encontrarán materiales con producción (evaluada a través de peso de racimo y número de manos), calidad (evaluada a través de número, longitud y diámetro de los dedos, entre otros caracteres) y sanidad (evaluada indirectamente a través del número de hojas a floración y cosecha) adaptadas a los requerimientos de la producción y mercado nacionales. Esta información permitirá seleccionar genotipos superiores para conformar una variedad de comportamiento agronómico acorde a la demanda de los productores, así como establecer criterios con base biológica y agronómica para conformar un banco de germoplasma que conserve la variabilidad genética disponible en la provincia de Formosa.

OBJETIVO GENERAL

Dado que la producción de banana en Formosa carece de toda información referente a los materiales cultivados y que la producción actual y futura requiere variedades uniformes, con rendimientos altos y estables a través del tiempo, se propone como objetivo general el estudio de la diversidad genética, en los niveles fenotípico y molecular, del cultivo a los fines de, a partir de la selección de genotipos actualmente en uso, constituir una variedad adaptada a las condiciones locales y determinar criterios para construcción de un banco de germoplasma que represente la variabilidad genética existente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Caracterización molecular de los recursos genéticos de *M. acuminata* (AAA) Subgrupo Cavendish.

Evaluación de aptitud agroecológica de la provincia de Formosa, Argentina para la producción de banana.

Selección de clones promisorios entre la biodiversidad de banana recolectada en campos de productores.

Conformación de un banco de germoplasma de banana.

CAPÍTULO I

“CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE *Musa* (AAA) SUBGRUPO CAVENDISH”.

1 INTRODUCCIÓN

Para caracteres cuantitativos, el fenotipo está fuertemente influido por el genotipo y el ambiente. Dado que banana es un cultivo perenne, el mismo genotipo está sucesivamente afectado por diferentes ambientes. A esto se suma que en la provincia de Formosa el ambiente es muy variable aún dentro del mismo año y a poca distancia geográfica, por lo que se hace necesario partir de un conocimiento objetivo e independiente del ambiente a fin de conocer la variabilidad genética disponible.

Además, muchas características fisiológicas, incluida la tolerancia al estrés biótico y abiótico, particularmente en condiciones controladas, contenidas y reproducibles, es difícil estudiar, debido al tamaño de las plantas y su largo ciclo de vida (Manzo-Sánchez et al., 2000). Por estos motivos, la caracterización molecular, aunque parcial, del material colectado en campos de productores, es el primer paso para las evaluaciones fenotípicas que se harán en los siguientes capítulos.

En la prospección y colecta de material vegetal a campo, la selección fenotípica realizada podría haber sido sobre efectos genéticos o ambientales, incluyendo en éstos al clima y al manejo. A esta incertidumbre se sumaba que, en las encuestas aplicadas a los productores familiares, las respuestas podrían no reflejar la realidad, especialmente respecto a las prácticas de fertilización realizadas.

Hasta hace poco se utilizaban métodos basados en la morfología para la caracterización del germoplasma de *Musa* (Ortiz, 1997; Ortiz y Cauwer, 1998). Estas características morfológicas están influenciadas por el medio ambiente, con más énfasis en nuestro ambiente, donde cada ciclo de producción es diferente, por lo que, es necesario la aplicación de técnicas moleculares que reflejan la diversidad de los genotipos en forma independiente a todos estos factores.

Los trabajos basados en ADN han revolucionado y modernizado nuestra capacidad para caracterizar la variación genética. La primera ventaja de las técnicas moleculares es su capacidad para detectar la diversidad genética a un nivel de resolución superior al de otros métodos; además, los estudios basados en ADN son robustos, rápidos, la información puede obtenerse de pequeñas cantidades de material vegetal en cualquier etapa de desarrollo y no se ve afectada por las condiciones ambientales.

Actualmente se dispone de un gran número de técnicas moleculares diferentes y cada una de ellas difiere en su contenido informativo como el ADN polimórfico amplificado aleatorio (RAPD) (Williams et al., 1990), las repeticiones de secuencias simples (SSR) y los polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados (AFLP) para dilucidar las relaciones genéticas entre diferentes genotipos de *Musa* (Shinwari, 1995; Vos et al., 1995).

La técnica de 'Polimorfismo por amplificación de longitud de fragmentos' (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) o AFLP es un marcador de ADN basado en la amplificación por PCR de fragmentos restringidos seleccionados obtenidos de la digestión del ADN genómico o ADNg. Es una técnica molecular robusta y confiable empleada en muchos estudios sistemáticos de diversas especies de plantas (Vendrame et al., 1999; García et al., 2004; Gonzaga y Gutiérrez, 2004; Murtaza, 2006).

Se ha demostrado que los AFLP pueden detectar polimorfismo entre los cultivares de *Musa* con la máxima precisión y son capaces de discriminar y caracterizar cultivares (Engelborghs et al., 1998; Loh et al., 2000; Ude et al. 2002); El-Khishin et al., 2009; Al-Saady et al., 2010).

Los niveles de polimorfismo demostraron ser altos en *Musa*, lo que indica que la técnica fue efectiva para el análisis de diversidad genética, con una buena capacidad de repetición y una cobertura razonable del genoma (Wang et al., 2007). Tal evaluación sería de gran ayuda para aclarar la situación a nivel del agricultor formoseño. También permitiría una estandarización de los cultivares Cavendish a nivel nacional.

En este capítulo inicial, se estimó la variabilidad genética en un subconjunto de 42 clones caracterizados por AFLP y se aplicaron distintas técnicas de clasificación y ordenación para analizar la variabilidad genética de los materiales basada en los datos de AFLP.

En este Capítulo se propone la caracterización molecular de la diversidad genética, mediante las técnicas de polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP), la aplicación de cluster, coordenadas principales y AMOVA en los clones selectos de *Musa acuminata* (AAA) Subgrupo Cavendish.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Material Vegetal

Los clones de banana (AAA) fueron seleccionados por su estabilidad y producción durante años en campos de productores formoseños. Entre marzo y abril de 2012 se marcaron en la región subtropical norte de Formosa 684 plantas dentro de 84 lotes de Agricultores Familiares, lotes que, mostraron estabilidad de rendimiento en el periodo de tiempo comprendido entre 2006 y 2011. Al final, de la totalidad de los clones, se utilizaron 44 clones del grupo de alto rendimiento provenientes de seis lotes diferentes.

Sobre estos materiales se sacaron muestras por duplicado de cada genotipo, la misma se tomó con un sacabocado en la hoja más joven (hoja cigarro), con las medidas de asepsia correspondientes, se colocaron en un eppendorf identificados y de manera inmediata, se introdujeron en un termo con nitrógeno líquido para mantener a $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. De esta forma se llevaron a los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR.

El material vegetal se codificó de la siguiente manera: Campo 1 BCC, 5 clones obtenidos del lote uno de Pedro Bondaruck; Campo 2 BARB, 8 clones del lote dos de Pedro Bondaruck; Campo 3 SBFA, 5 clones del lote uno de Felipe Sánchez; Campo 4 SBFB, 8 clones obtenidos del lote dos de Felipe Sánchez; Campo 5 OMP, 13 clones obtenidos del campo de Omar Chaparro; Campo 6 OSP, 4 clones obtenidos del campo de Oscar Chaparro.

Los cultivares Gran Enano (TGE) y Gal (TGAL) fueron utilizados como control técnico en todo el proceso (de ahí el agregado de la letra T: testigos a las siglas del material) ya que se corresponden a genotipos previamente utilizados en dos trabajos anteriores (Ermini et al., 2013 y Ermini et al., 2016).

2.2 Extracción y evaluación de ADNg

El ADN genómico de 60 mg de hojas jóvenes se extrajo mediante un kit comercial (Wizard® Genomic DNA Purification Kit, Promega). Las hojas se recolectaron en el campo de los agricultores y se conservaron a $-195,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se extrajo el ADN por duplicado para aumentar la confiabilidad de los experimentos. El ADN extraído se visualizó en gel de agarosa al 1% para verificar la calidad y la cantidad en comparación con el fago λ .

2.2.1 Restricción del ADNg

La solución de restricción compuesta por 4,0 µl Amortiguador Tango ®10X 1 X; 0,6 µl EcoRI 10 u/µl 6; 0,6 µl TruI (MseI) 10 u/µl y 4,8 µl H₂Oup, se añadió a los 30 µl de ADNg de cada uno de los genotipos, dando un volumen final de 40 µl por muestra. La solución final se incubó por 2 horas en baño a 37 °C, agitando manualmente a la hora.

2.2.2 Ligación de los fragmentos con los adaptadores

El periodo de ligación se llevó a cabo con el volumen de 40 µl de ADN digeridos, los adaptadores se detallan en la Tabla 1. Los 50 µl finales se incubaron 2 horas en baño a 37 °C, agitando manualmente a la hora.

Oligonucleótidos 5'→3'	Descripción	Oligonucleótidos 5'→3'	Descripción
GACGATGAGTCCTGAG	(MseI adaptador)	CTCGTAGACTGCGTACC	(EcoRI adaptador)
TACTCAGGACTCAT	(MseI adaptador)	AATTGGTACGCAGTC	(EcoRI adaptador)

Tabla 1: Secuencia de adaptadores de unión a los extremos cohesivos (pegajosos) de los fragmentos obtenidos por las enzimas de restricción.

2.2.3 Pre amplificación y Amplificación Selectiva: PCR

La mezcla maestra utilizada en la reacción de preamplificación (cebadores con un solo nucleótido selectivo) fue realizada como se describe en la Tabla 2. Además, los cebadores utilizados en la preamplificación están descritos en la Tabla 3.

Constitución mezcla maestra preamplificación	Concentración final en la mezcla maestra
0,5 µl Amortiguador 10X	1X
0,6 µl MgCl ₂ 50mM	1,2 mM
1,0 µl dNTP 5mM	0,2 mM
7,5 µl Cebador Eo1 (EcoRI +1) [100ng/ul]	30 ng/ul
7,5 µl Cebador Mo2 (MseI +1) [100ng/ul]	30 ng/ul
0,2 µl Taq 5u/µl	1 Unidad
4,7 µl H ₂ Oup	-
1,0 µl ADN molde	-
25,0 µl Volumen final	-

Tabla 2: Mezcla maestra de preamplificación

MseI (cebadores) 5'→ 3'	EcoRI (cebadores) 5'→ 3'
GATGAGTCCTGAGTAA C(Mo2)+1	GACTGCGTACCAATTC A(Eo1)+1

Tabla 3: Cebadores de la preamplificación.

La amplificación con cebadores (+3) se preparó con la mezcla maestra detallada en la Tabla 4 y en la Tabla 5 se describen los cebadores (+3) utilizados en la amplificación selectiva.

Mezcla maestra de amplificación selectiva	Concentración final en la mezcla maestra
2,5 µl Amortiguador 10X	1X
0,6 µl MgCl ₂ 50mM	1,2 mM
1,0 µl dNTP 5mM	0,2 mM
7,5 µl Cebador (+3) [100ng/ul]	30 ng/ul
7,5 µl Cebador (+3) [100ng/ul]	30 ng/ul
0,2 µl Taq 5u/µl	1 Unidad
4,7 µl H ₂ Oup	-
1,0 µl ADN molde	-
25,0 µl Volumen final	-

Tabla 4: Mezcla maestra amplificación selectiva.

MseI (cebadores) 5' →3'	Descripción	EcoRI (cebadores) 5'→3'	Descripción
GATGAGTCCTGAGTAA	CAG(M32)+3	GACTGCGTACCAATTC	ACT(E38)+3
GATGAGTCCTGAGTAA	CTA(M34)+3	GACTGCGTACCAATTC	AGA(E39)+3
GATGAGTCCTGAGTAA	CTG(M35)+3	GACTGCGTACCAATTC	AGC(E40)+3
GATGAGTCCTGAGTAA	CGT(M36)+3	GACTGCGTACCAATTC	ATG(E45)+3

Tabla 5: Cebadores utilizados en la amplificación selectiva

Los cebadores se utilizaron en las siguientes combinaciones: (M32; E38), (M32; E39), (M34; E39), (M35; E40), (M36; E40); (M35; E45) reportadas por Ermini et al. (2013). Las terminaciones de las secuencias se detallan en la Tabla 6.

Eco (últimas 3 bases)					
Mse (últimos 3 bases)		ACT	AGA	AGC	ATG
	CAG	1	2	-	-
	CTA	-	3	-	-
	CTG	-	-	4	-
	CGT	-	-	5	6

Tabla 6: Combinaciones de cebadores probadas sobre los clones.

2.2.4 Siembra, corrida y visualización de la amplificación selectiva

Para la corrida se utilizaron geles de poliacrilamida 6% p/v, que se introdujo en una celda Sequi-Gen GT Sequencing (Bio-Rad Laboratories ®), la cual, una vez armada, se dejó polimerizar durante 24 horas. Al día siguiente de la Pre amplificación y la Amplificación selectiva por PCR se hizo una pre-corrida durante 30 minutos a 45 Watts para calentar el gel y la celda a la temperatura adecuada.

Para esto, se agregaron a la celda la solución amortiguadora superior (TBE 0,5X) y la solución inferior (TBE 1X), las muestras a sembrar se prepararon desnaturalizándolas durante 5 minutos a 94 °C. Una vez que la pre-corrida finalizó se procedió a sembrar los 3,8 µl se prepararon de cada muestra y se utilizó “Cincuenta Marker” (Biodynamics) como marcador de peso molecular. Se corrió a 45 Watts durante 3 horas aproximadamente.

2.3 Análisis de los datos

Los geles fueron analizados de la siguiente manera:

Las bandas de AFLP se detectaron mediante el programa Gel-pro Analyzer®, con el cual se analizaron las bandas monomórficas y polimórficas de cada clon. Las bandas se

detectaron en las diferentes combinaciones de cebadores y entre los pesos moleculares de 500 y 80 pares de bases.

El polimorfismo se analizó por la presencia/ausencia de cada amplicón, relacionando el número de bandas polimórficas con el número de bandas amplificadas por combinación de cebadores y en total. Con las combinaciones de cebadores se caracterizaron los clones recolectados en los campos de productores formoseños.

Para esto, se construyó una matriz binaria: primero, los datos se confeccionaron en diferentes planillas de Excel con presencia (codificada por 1) y ausencia (codificada por 0) de las bandas polimórficas. Luego, los datos se analizaron en el programa estadístico Infostat® (Balzarini y Di Renzo 2012) mediante análisis multivariado. La validación del agrupamiento se realizó generando una matriz cofenética y que la bondad de ajuste entre la matriz de distancias originales y la matriz cofenéticas se evaluó a través del coeficiente de correlación cofenética.

Los análisis se visualizaron a través del dendrograma construido con el algoritmo de Ward y la distancia de Dice (Dice y Goldberg, 1975) como métrica.

Luego, el análisis de Coordenadas Principales con la misma métrica se aplicó con la distancia de Dice. También, el Análisis de Varianza Molecular (AMOVA) a un criterio de clasificación se empleó para comparar la variación molecular entre grupos de plantas recolectadas en el campo de un productor agropecuario con la misma composición y dentro del grupo.

3. RESULTADOS

Se obtuvo un total de 540 bandas correspondientes a la amplificación selectiva, con un polimorfismo de 100 %, calculado por individuos (no por loci), a pesar que los mismos tenían bandas monomórficas, ninguno fue igual entre sí (Figura 14). El patrón de bandas duplicadas fue de 23, en tanto que 21 amplicones fueron exclusivos de un único productor.

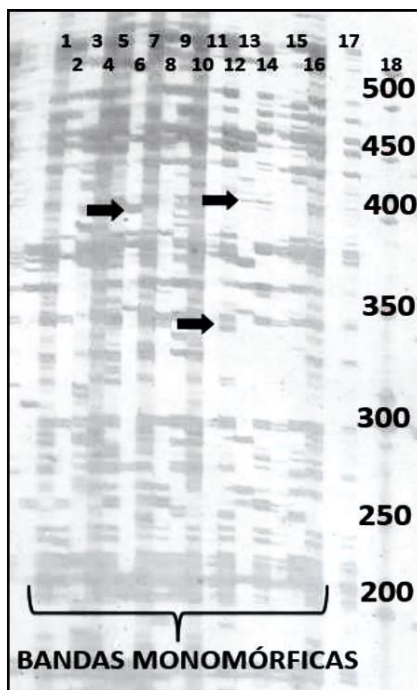


Figura 14: sección del gel de poliacrilamida con la amplificación selectiva (E39/M32). En las flechas negras se observa algunos ejemplos de bandas polimórficas, y la llave detalla un ejemplo de bandas monomórficas. Las calles y genotipos se especifican a continuación: 1: BARB4; 2: SBFB6; 3: OSP4; 4: BCC1; 5: BCC2; 6: BCC3; 7: BCC4; 8: BARB3; 9: BARB5; 10: BARB6; 11: sin muestra 12: BARB7; 13: BARB8; 14: SBFA1; 15: OMP2; 16: OMP5; 17: OMP6; 18: Marcador molecular de 50 pares de base, sección de 500 a 200 pares de bases.

El dendrograma (Figura 15) obtenido con los perfiles moleculares, tuvo una correlación cofenética de 0,63. La variabilidad ordenada por el dendrograma mostró cuatro grupos generales: un primer grupo (color azul) formado con genotipos de campos: tres, cuatro y cinco. Un segundo grupo (color lila) con genotipos de los campos: cuatro, cinco, seis, siete y un único genotipo proveniente del campo dos, difieren del resto de los genotipos analizados y contienen los testigos. El tercer grupo (color verde), encontramos en su mayoría genotipos de los campos: uno y dos (pero con otros genotipos de los campos: tres, cinco y seis). El cuarto

grupo (color rojo), se encuentran solos cuatro genotipos (provenientes de los campos uno y dos).

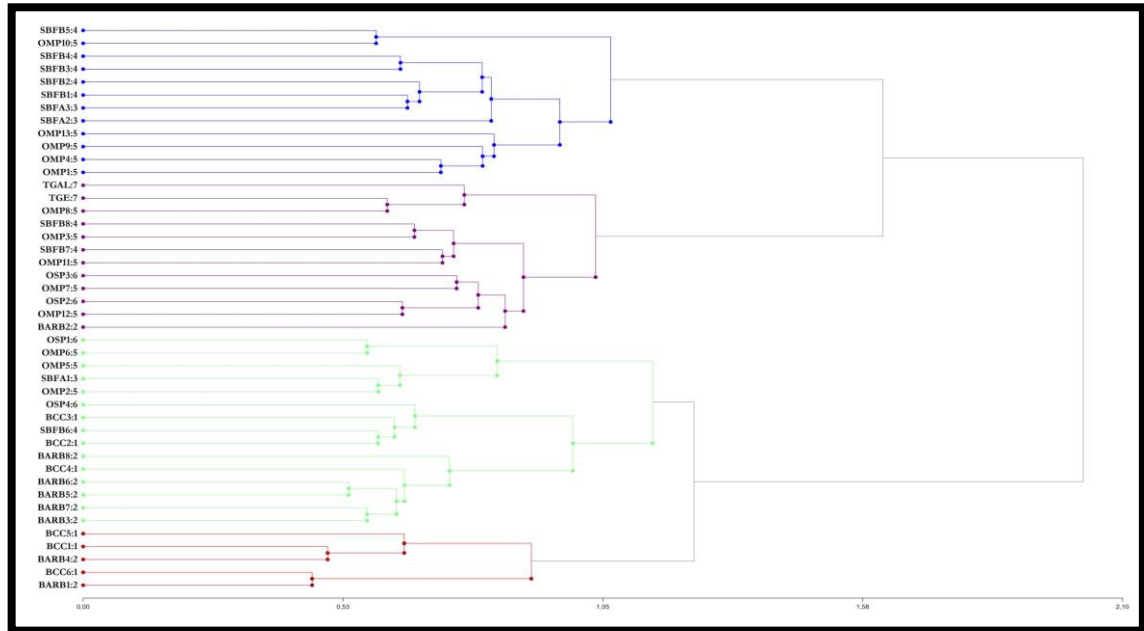


Figura 15: *Dendrograma* obtenido por el análisis de la matriz de datos binaria a través de la distancia de *Dice* y el algoritmo de Ward. En el gráfico, luego de la designación de cada genotipo evaluado, se detalla la clasificación de cada campo de productor mediante los números del uno al siete: uno, campo BCC; dos, campo BARB; tres, campo SBFA; cuatro, campo SBFB; cinco, campo OMP; seis, campo OSP; y, siete, testigos.

El biplot del Análisis de Coordenadas Principales a partir de los datos moleculares muestra que las dos primeras componentes explican un 18% de la variabilidad de los datos observados. En diferentes colores se discriminan los genotipos de cada de campo de productor y los testigos. El biplot generado con los mismos datos muestra una agrupación similar al dendrograma (Figura 16).

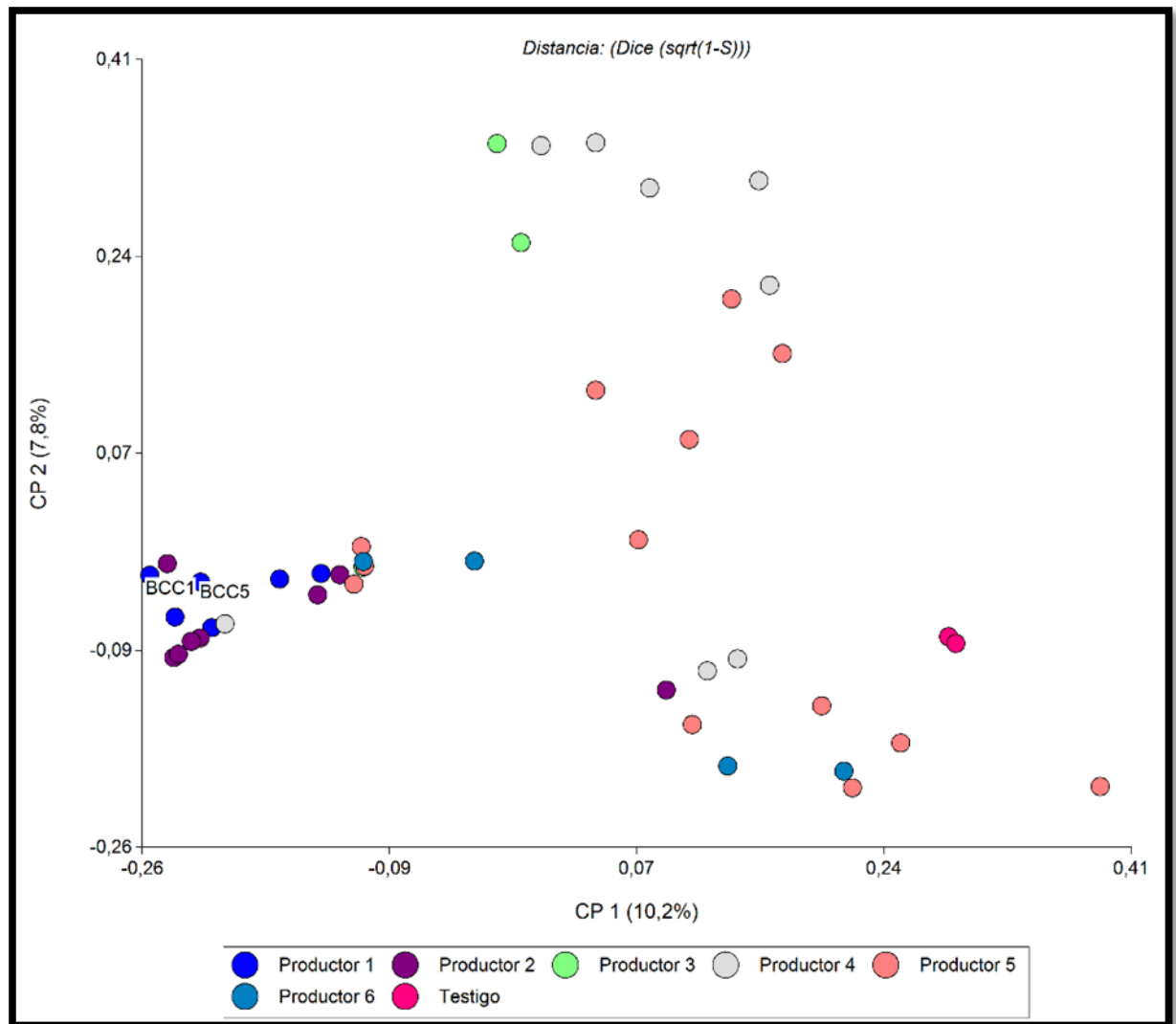


Figura 16: *Biplot de Análisis de Coordenadas Principales*, los dos puntos rosados corresponden a los testigos Gran Enano y Gal (TGE Y TGA).

En la tabla 7 se muestran los resultados del AMOVA, evidenciando, que si bien, tanto la variación molecular entre como dentro de campo de productor son significativas, las variaciones dentro resultan dentro mucho mayores a las variaciones entre.

Fuente de Variación	G L	Suma de Cuadrados	Componentes de Variancia	Porcentaje de la Variación	Valor p
Entre Productores	6	1.50	0.02	8.9	<0,0001
Dentro Productores	37	5.84	0.016	91.10	<0,0001
Total	44	7.34	0.17	100	

Tabla 7: AMOVA entre campo de productores y dentro de cada uno de ellos. Las diferencias moleculares entre plantas fueron estimadas con 400 permutaciones aleatorias.

Esta distribución de la diversidad entre campos y dentro de campo de productores detectada por el AMOVA se corresponde con la posición de los clones en el *cluster* de la figura 16, ya que no se observa un agrupamiento de acuerdo a campo de productor.

4. DISCUSION

El desafío de esta tesis es demostrar que los AFLP son eficientes para evaluar la diversidad genotípica de este grupo de clones, autopoliploide de banana.

Una amplia gama de polimorfismo molecular se halló entre los clones de banana recolectados en los campos de productores de Formosa, el cual alcanzó el 100%; en trabajos anteriores en *Musa acuminata* se encontró al menos un 93% de nivel polimórfico en todas las muestras examinadas por AFLP (Wong et al., 2001), por otra parte, Opara et al. (2010) comunicaron el porcentaje de polimorfismo variaba de 90,3% a 97,6% con la técnica de AFLP.

El nivel más alto de polimorfismo detectado en este conjunto de genotipos (100%) podría ser debido a dos razones: en primer lugar, la forma de introducción de los materiales por parte los agricultores, cada inmigrante (de la República del Paraguay) traía un grupo pequeño de brotes (300 a 500 por familia) para iniciar su plantación, sin ningún tipo control sanitario y menos aún trazabilidad alguna del material introducido.

A medida que el cultivo fue creciendo en superficie, se recurrían a los vecinos para implantar nuevos lotes, es importante recalcar este detalle, porque normalmente cada productor tiene tres o cuatro lotes y son de diferentes orígenes, inclusive un mismo lote tiene varios diferentes. Así, de manera empírica, fueron seleccionando los mejores clones, año tras año, aumentando la superficie de producción de chacra.

La segunda razón podría ser la consecuencia de la adaptación del banana a ambientes subtropicales. Desde la década 1960 el cultivo Está expuesto a las condiciones climáticas (con inviernos severos para un cultivo tropical) de la región, ciclo de cultivo, tras ciclo del cultivo, en este ambiente estresante. Las mutaciones espontáneas durante adaptaciones y procesos evolutivos ocurren a un ritmo extremadamente bajo, es decir, 10^{-5} – 10^{-8} (Zakir, 2018), pero se han acumulado a lo largo del tiempo.

Pese a que, dada esta baja frecuencia y las relativamente pocas décadas transcurridas desde la introducción del banana en Argentina, parecen insuficientes, para crear variaciones genéticas de un cultivo en poco tiempo (Zhong-hua et al., 2014). Sin embargo, los recientes trabajos de selección efectuados en los subtrópicos han puesto de manifiesto que la frecuencia de mutaciones espontáneas en las plantaciones bananeras, no identificadas fácilmente por diferencias morfológicas evidentes, es mayor que la indicada anteriormente. Un buen ejemplo de un programa de selección en campo con notable éxito ha sido el efectuado en las plantaciones de 'Pequeña Enana' en las Islas Canarias, que ha dado como resultado la identificación y comercialización del cultivar 'Gruesa' y otros clones prometedores (Cabrera y Galán Saúco, 2006).

En entrevistas con los agricultores, la mayoría ha encontrado mutantes enanas alguna vez, y ha erradicado del lote, en este caso es fácil, porque se visualizan de manera inmediata, pero aquellas mutaciones que no se expresan de manera evidente, se acumulan en el lote. Tales mutaciones representarían una fuente de variabilidad genética que pueden ser neutrales, deletéreas, o conferir adaptación a un clima más severo y condiciones específicas del suelo.

La alta diversidad molecular observada y agrupada por el análisis multivariado (tanto en el biplot de Coordenadas Principales como en el dendrograma) demuestra una superposición de genotipos entre productores; sin embargo, con algunos rasgos distintivos entre ellos.

Por lo tanto, debido a la historia del cultivo se podría decir que la diversidad genética observada mantiene cierta similitud proveniente de la introducción, cada familia traía sus propios clones, o bien podría ocurrir que las plantas cultivadas fueron en un principio incrementadas en número por su adaptabilidad y producción y seleccionadas por productores para luego ser intercambiadas entre estos. Como consecuencia, se observa un agrupamiento dentro de productores, pero también una similitud entre productores para la variabilidad genética en el conjunto de plantas analizadas.

Además, cada componente de la varianza observada (entre y dentro de campo de productores) mediante el AMOVA se puede analizar. Los resultados obtenidos demuestran que la variación es mayor dentro de los campos productores y no entre grupos de genotipos de campos. El mismo resultado fue observado por Wang et al 2007.

Este resultado cambió la metodología que el INTA usaba para seleccionar clones, en un principio era en la mayor cantidad posible de productores y pocas plantas dentro de cada lote, lo que implicaba un enorme desgaste operativo.

A partir de los resultados obtenidos, con un 91% de la variabilidad dentro de los productores, reducimos el número de ellos y multiplicamos la selección dentro de los lotes. Desde el punto de vista del programa de mejoramiento, no solo se mejoró el tiempo operativo, sino los costos del mismo, haciendo más eficiente el recurso económico disponible.

5. CONCLUSIONES

Los marcadores moleculares permitieron, de una manera efectiva, estimar la variabilidad molecular de grupo de genotipos selectos de banana en campo de productores. Se observó una alta similitud entre los genotipos, aunque el porcentaje de polimorfismo entre los individuos es del 100 %, la existencia de bandas monomórficas indicó o evidenció que el porcentaje de loci polimórficos, en promedio fue bajo, independientemente de los campos de producción.

Dado que la variabilidad molecular observada dentro de cada campo es mayor que entre campos, es más conveniente y eficiente seleccionar clones dentro de cada campo de productores. Eso permite reducir el tiempo operativo y los costos, tan importantes en un programa de mejoramiento.

Los análisis multivariados junto con los resultados del AMOVA son herramientas que permitieron determinar la existencia de diversidad molecular en los campos de productores.

CAPÍTULO II

**“EVALUACIÓN DE APTITUD AGROECOLÓGICA DE LA PROVINCIA DE FORMOSA,
ARGENTINA PARA LA PRODUCCIÓN DE BANANA”.**

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones agroecológicas idóneas, en las cuales se desarrolla el cultivo de banana (Soto Ballester, 2008; Robinson y Galán Sauco, 2010), se alejan de aquellas que se tienen en el subtrópico de la República Argentina, haciendo referencia, a las bajas temperaturas invernales que incluyen algunas heladas y en la distribución de las precipitaciones.

La variabilidad climática mencionada en la introducción muestra un comportamiento muy diferente entre los ciclos de producción, lo cual complica la selección de material genético. Esta complejidad se incrementa debido a los suelos aluvionales de la región, que están formados por materiales sedimentarios muy diversos. Los cambios frecuentes en la dirección de los cursos principales han modelado y remodelado estos suelos, dejándolos con una gran diversidad tanto en el perfil como en el plano horizontal. Incluso dentro de un mismo lote de producción, las características del suelo pueden ser diferentes (Lanfranco et al., 2011).

Con el fin de caracterizar agroecológicamente el ambiente local en la producción de banana, se introdujo material genético (cultivares comerciales) ampliamente utilizado en la investigación y producción mundial, como testigos en la valoración ambiental.

A su vez, una vez caracterizados estos materiales internacionales como referencia, se hizo una evaluación del material recolectado en los campos de productores en cuanto a su diversidad fenotípica.

En este capítulo se propone caracterizar el ambiente de producción de Formosa para el cultivo de banana, a través de la evaluación fenotípica de los cultivares internacionales, determinando si las condiciones agroecológicas son aptas para la producción comercial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material Vegetal.

En el 2008 se introdujeron a la Argentina a través de SENASA, cuatro cultivares de banana para evaluar en el ambiente del Noreste de Argentina (NEA), los plantines *in vitro*, fueron donados por la empresa en agrobiotecnología Rahan Meristem. Los materiales elegidos fueron dos cultivares ampliamente utilizados y estudiados a nivel mundial, Gran

Enano y Williams y dos materiales nuevos, representados por sus respectivos mutantes, Gal y Jaffa.

El material evaluado y seleccionado en campo de productores se llevó identificado al campo experimental del AIPAF NEA INTA, en Laguna Naick-Neck. Los 140 clones (de 684 iniciales) se implantaron en un ensayo en septiembre del 2014.

2.2 Diseño Aumentado

El ensayo correspondió un diseño aumentado de 15 bloques con 14 parcelas o entradas; cada uno de los bloques tiene 4 testigos y once clones elegidos de manera aleatoria; se completó el diseño de 210 lugares con 10 clones, como rellenos, que habían quedado fuera de la selección en primera instancia. Cuenta con una bordura de cuatro surcos, los internos se condujeron como el ensayo, mismas labores y tratamientos con fungicidas; los surcos externos, se utilizaron como bordura de infección, a los cuales no se les aplicó fungicidas en ningún momento tratando de asegurar inóculo en el ensayo (Figura 17).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
I	14003	14020	14011	14092	14124	Test 2	14005	Test 4	14034	Test 3	14070	Test 1	14033	5.1	B O R D U R A
II	14105	14103	Test 2	14052	14050	14054	14068	14002	14029	Test 4	14096	Test 3	Test 1	5.2	
III	14025	14077	14021	14022	14018	Test 2	Test 1	14127	Test 4	14040	14082	Test 3	14083	5.3	
IV	14004	Test 4	Test 2	14049	14109	14118	14023	14061	Test 1	14095	14075	Test 3	14102	5.4	
V	14132	14112	14012	14057	14065	14026	14043	14072	14017	Test 1	Test 3	14093	Test 2	Test 4	
VI	Test 2	14069	14134	14031	14086	14120	14024	Test 3	14121	Test 4	14128	14145	Test 1	5.6	
VII	14089	Test 3	14041	14130	14094	Test 1	Test 2	14081	14113	14062	14058	14117	14010	Test 4	
VIII	14073	Test 4	14009	14047	14101	14037	14006	14013	Test 2	14066	Test 1	14007	Test 3	5.8	
IX	14055	14028	14091	Test 3	14122	14098	14080	Test 1	14135	Test 2	Test 4	14114	14036	14139	
X	14131	14087	14111	14106	14110	14015	Test 3	14123	Test 2	14032	Test 1	Test 4	14030	5.10	
XI	14056	14084	14008	14039	14104	14063	14051	Test 4	Test 1	Test 3	14125	Test 2	14076	5.11	
XII	14042	Test 1	14107	14129	14097	Test 2	Test 3	14014	14074	14059	14016	14108	Test 4	14116	
XIII	Test 2	Test 1	14099	14078	14027	14038	14046	14115	Test 3	Test 4	14140	14100	14067	14138	
XIV	14053	Test 1	Test 3	14088	14064	14119	14137	14019	Test 2	14133	Test 4	14048	14090	5.14	
XV	Test 1	14136	14035	14071	14060	Test 2	Test 3	14126	14044	14079	14001	14085	Test 4	5.15	
B O R D U R A															

Figura 17: Plano de campo del Ensayo Comparativo de Rendimiento. Las filas corresponden a los 15 bloques y las 14 columnas son las parcelas del diseño aumentado. Laguna Naick-Neck. Formosa.

2.3 Manejo del cultivo.

Se definió la fertilización con el objetivo de alcanzar un rendimiento de 30 ton/ha/año, considerando el potencial al cual se considera pueda llegar y/o superar la región con material genético y manejo adecuado. Para las 30 ton/ha se necesitan 60 kg de N; 12 kg de P y 100 kg de K (Soto Ballester, 2008). Todos los años se realizó análisis de suelo en inicio del ciclo, mes de septiembre y, para enero o febrero, según la distribución de las precipitaciones. Los análisis se hicieron en el laboratorio de Suelo y Agua del AIPAF NEA Laguna Naick-Neck.

A partir de estos datos, se calculó la cantidad de fertilizante que se requería para alcanzar las 30 ton/ha/año. Con una cantidad de 1.660 plantas/ha, le correspondió a cada una de ellas unos 180 – 250 gramos de fertilizante (según análisis de suelo) y se lo dividió en tres o cuatro aplicaciones de acuerdo a la distribución de las precipitaciones en cada ciclo de producción (Figura 18).

El control de las enfermedades fue monitoreado de manera permanentemente, dejando expresar las mismas de manera moderada para ver el comportamiento de los materiales, haciendo especial hincapié en la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*), la principal enfermedad que ataca el cultivo en nuestra región. Las aplicaciones se redujeron al mínimo indispensable y se hacían con motomochila (Figura 18). Se utilizó Emerald Excell (Tetraconazole + Azoxistrobin) a razón de 600 cm³/ha.



Figura 18: Fertilización con una mezcla de N y K, se realiza de manera manual, planta por planta. Aplicación de fungicida con motomochila para el control de Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*).

2.4 Variables evaluadas

Altura de Planta (AP): La altura de planta es una de las variables más importantes para el cultivo, provoca un considerable riesgo de vuelco a medida que buscamos mejores rendimientos (cacho pesado y alto). De las encuestas con los agricultores familiares y años de evaluación en ensayos y trabajos de campo, la altura que permite un mejor manejo de la producción está entre los 3,30 y los 3,50 m. Se toma después de floración, desde el nivel del suelo hasta la base visible del raquis, medida en metros.

Circunferencia del Pseudotallo (CP): la hoja del banano consta de vaina foliar, pseudopécíolo y lámina foliar. Las vainas son largas y se disponen en forma envolventes que se traslapan a lo largo formando el pseudotallo, este puede alcanzar los 5 metros, soporta el peso del cacho y tiene la capacidad de almacenar agua y reservas amiláceas. Se mide la circunferencia después de floración, a un metro del nivel del suelo en cm.

Número de Hojas a Floración (NHF): La superficie foliar total varía de una planta a otra y en el momento de floración hay 12 a 13 hojas funcionales. En ensayos llevados adelante en Costa de Marfil (Soto Ballester, 2008) se constató que el número de hojas emitidas y el tiempo de emisión, son características fijas. Se mide en el momento de floración, contándose aquellas hojas que tengan más del 50% fotosintéticamente activa (se descarta la superficie con enfermedades y un porcentaje por hoja deflecada por el viento en cada hoja).

Número de Manos a Floración (NMF): Cuando el meristema se transforma de vegetativo en reproductivo genera entre 5 y 18 manos, esta cantidad está regulada por el desarrollo de la planta y por las condiciones agroecológicas que hubo antes de este momento. Número de manos totales, hasta la aparición de la mano falsa, que tiene el racimo o cacho.

Semana de Embolsado (SE): El manejo del cultivo de banana en los países productores y exportadores se conduce en semanas. El año tiene 52 semanas y referimos a SE a aquella en que se trabajó (desfloró y desmanó el cacho) y se cubre con la bolsa protectora el racimo o cacho. Esta fecha se la considera floración. En los países tropicales la semana uno (1) del calendario bananero coincide con el anual. El ciclo local de producción, la semana uno (1) corresponde a la primera semana de septiembre y finaliza con la semana 52 el 31 de agosto del siguiente año.

Semana de Cosecha (SC): Corresponde a la semana del año que se cosechó el cacho.

Número de Hojas a Cosecha (NHC): Ensayos de defoliación determinaron que el mantenimiento de 8 hojas es suficiente para obtener un desarrollo normal del cacho hasta la cosecha (Soto Ballester, 2008). Se cuentan aquellas hojas que tengan más del 50% fotosintéticamente activa.

Peso del Raquis (PR): El peso del raquis guarda relación con el tamaño de las manos y éstas con su posición en el raquis. Una vez cosechado el cacho, se separan las manos y se pesa en gramos (Figura 19).

Peso Total (PT): Sumatoria del peso de raquis y todas las manos, que se pesan de manera individual en balanza con una precisión de gramos, corresponde a rendimiento de cada clon evaluado, medido en kilogramos.

Peso de Manos 1 a 4 (PM14): El peso de las manos varía en más del 40% entre la primera y la última mano. Las manos más pesadas y de mejor tamaño comercial son las primeras que, con certezas cumplen con la calidad del mercado más exigente. Se pesan en balanza las cuatro primeras manos y se expresan en kilogramos (Figura 19).

Peso de Manos 5 a 9 (PM59): Manos más pequeñas, menor tamaño comercial y las más afectadas por las condiciones de manejo y agroclimáticas adversas. Se pesan las últimas manos y se expresan en kilogramos

Diámetro Del Dedo de la Segunda Mano (DDSM): El diámetro de la fruta está muy relacionado con la madurez de consumo, también afecta el empaque de las frutas. Por acuerdo entre investigadores se evalúa el dedo central de la segunda mano del cacho, medido de forma transversal en el medio del dedo, con calibre, en milímetros (Figura 19).

Longitud del Dedo de la Segunda Mano (LDSM): Corresponde a la longitud del dedo central de la segunda mano medido desde la base del pedicelo hasta el final de la fruta, por el dorso de la banana. Medido en centímetros.

Diámetro del Dedo de la Última Mano (DDUM): Corresponde a la evaluación del dedo central de la última mano del cacho, medido de forma transversal en el medio del dedo, en milímetros.

Longitud del Dedo de la Última Mano (LDUM): Corresponde a la longitud del dedo central de la segunda mano medido desde la base del pedicelo hasta el final de la fruta, por el dorso de la banana. Medido en centímetros.

Grosor de Cáscara (GC): El cultivo de banana tiene una fruta muy delicada para el transporte, cualquier golpe en el empaque, se pone negro después de la maduración y baja el valor comercial. El grosor de la cáscara medida en el dedo central de la segunda mano, con calibre y se expresa en milímetros.



Figura 19: **a.** Evaluación de cinco clones, cada uno de ellos desmanado y acomodado con su raquis y manos en orden para iniciar la evaluación. **b.** Peso de una mano. **c.** Contando y midiendo longitud y diámetro de dedos.

2.5 Análisis Estadísticos

Se utilizó un modelo completo para variedades. Permitió conocer el efecto bloque, como estimador de la performance del diseño aumentado y el de la interacción, además de estimar la Heredabilidad.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_{j(A)} + G_k + A_i \times G_k + E_{ijkl}$$

Donde Y_{ijkl} es el valor de la variable bajo estudio, A_i es el efecto del año, $B_{j(A)}$ es el efecto del bloque dentro del año, G_k es el efecto del testigo, $A_i \times G_k$ es la interacción año por genotipo y E_{ijkl} es el error aleatorio. A partir del modelo se estimó la Heredabilidad de cada variable de acuerdo a Kearsey y Pooni, 1996.

Modelo sin efecto bloque y sin interacción para clones. Este modelo abreviado no permite estimar Heredabilidad, sino repetibilidad

$$Y_{ikl} = \mu + A_i + G_k + E_{ikl}$$

Donde Y_{ikl} es el valor de la variable bajo estudio, A_i es el efecto del año, G_k es el efecto del clon, y E_{ikl} es el error aleatorio. A partir del modelo se estimó la Repetibilidad de acuerdo a Kearsey and Pooni, 1996.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados de los testigos Test 1 (Williams), Test 2 (Jaffa), Test 3 (Gal) y Test 4 (Gran Enano) en cuatro ciclos de evaluación (2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020)

El efecto año fue estadísticamente significativo para todas las variables en tanto que, los efectos bloque e interacción genotipo por ambiente no fueron estadísticamente significativos para ninguna de las variables evaluadas. En las tablas 8 a 23 se muestran los valores obtenidos y la Heredabilidad para cada variable.

Tabla 8: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Altura de Planta.

Material	Altura de Planta (metros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	N	Media	E. E.
Test 3	13	2,82 a	0,11	12	3,06 a	0,11	14	3,13 a	0,10	15	3,10 a	0,10	54	3,03 a	0,05
Test 2	15	2,91 a	0,10	14	3,23 ab	0,10	15	3,22 a	0,10	15	3,01 a	0,10	59	3,09 a	0,05
Test 1	15	3,11 b	0,10	14	3,38 b	0,10	15	3,45 b	0,10	14	3,23 b	0,10	58	3,29 b	0,05
Test 4	15	3,25 b	0,10	15	3,3 b	0,10	15	3,38 b	0,10	14	3,28 b	0,10	59	3,30 b	0,05

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,88

Dado el valor de Heredabilidad, para esta variable las variaciones fenotípicas fueron altamente debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica solo el 12% de las variaciones fenotípicas observadas. Los materiales Test 4 y Test 1 se diferencian estadísticamente de Test 2 y Test 3.

Tabla 9: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Circunferencia de Pseudotallo.

Material	Diámetro de Pseudotallo (centímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	N	Media	E. E.
Test 3	13	66,55 a	1,99	12	70,93 a	2,09	14	78,07 a	1,89	15	71,27 a	1,81	54	71,73 a	0,97
Test 1	15	65,47 a	1,81	14	74,70 a	1,89	15	81,53 a	1,81	14	70,91 a	1,90	58	73,15 a	0,93
Test 2	15	68,20 a	1,81	14	73,92 a	1,89	15	80,00 a	1,81	15	71,27 a	1,81	59	73,35 a	0,92
Test 4	15	76,20 b	1,81	15	83,93 b	1,81	15	87,73 b	1,81	14	82,05 b	1,90	59	82,48 b	0,92

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 1

En circunferencia del pseudotallo se diferencia claramente el Test 4, con un valor de 82,48 cm, del resto de los materiales que no tienen diferencias significativas entre ellos. En promedio estos tres materiales tienen una circunferencia de 72,74, muy distinta a la del testigo 4. Estas notables diferencias entre los genotipos causan que la Heredabilidad sea muy elevada.

Tabla 10: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Hojas a Floración.

Material	Hojas a Floración														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 3	13	10,21	0,32	12	9,83	0,33	15	10,65	0,29	15	11,07	0,29	54	10,44 a	0,19
Test 2	15	10,53	0,29	14	10,67	0,30	15	10,73	0,29	15	10,65	0,29	59	10,63 ab	0,15
Test 1	15	11	0,29	14	10,23	0,30	15	10,8	0,29	14	10,8	0,30	58	10,71 ab	0,15
Test 4	15	10,87	0,29	15	10,83	0,29	14	11,07	0,30	14	11,23	0,30	59	10,99 b	0,15

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,19

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron bajas debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica el 81,00 % de las variaciones fenotípicas observadas. Los testigos muestran escasas diferencias en la cantidad de hojas al momento de floración teniendo entre 10 y 11 hojas.

Tabla 11: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Número de Manos a Floración.

Material	Número de Manos a Floración														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	9,37 a	0,36	14	10,6 a	0,38	15	11,4 a	0,36	14	9,59 a	0,38	58	10,33 a	0,18
Test 3	13	10,07 a	0,39	12	9,89 a	0,42	14	11,42 a	0,38	15	10,47 a	0,36	54	10,46 a	0,19
Test 2	13	10,47 a	0,39	14	10,5 a	0,38	15	10,00 a	0,36	15	10,00 a	0,36	59	10,74 a	0,18
Test 4	15	11,02 b	0,36	15	11,6 b	0,36	15	12,87 b	0,36	14	11,09 b	0,38	59	11,64 b	0,18

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 1

En Número de Manos a Floración se diferencia claramente el Test 4, con un valor de 11,64 manos por cacho, que representa una mano más que el resto de los genotipos. Éstos no tienen diferencias significativas para esta variable, observándose un comportamiento similar al de circunferencia del pseudotallo.

Tabla 12: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Fecha de Bolsa.

Material	Fecha de Bolsa (semana de calendario bananero)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 2	15	32,53 a	2,80	14	22,78 bc	2,93	15	12,85 a	2,80	15	22,93 ab	2,80	59	22,09 a	1,41
Test 4	15	29,87 a	2,80	15	25,67 cd	2,80	15	15,13 ab	2,80	14	24,02 ab	2,94	59	23,67 a	1,41
Test 3	13	29,27 ab	3,07	12	25,68 cd	3,23	14	18,04 ab	2,93	15	25,53 bc	2,80	54	24,61 a	1,51
Test 1	15	30,27 a	2,80	14	20,07 ab	2,93	15	24,87 c	2,80	14	25,45 bc	2,94	58	25,16 a	1,43

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

Para esta variable, las diferencias fenotípicas se deben exclusivamente a variaciones ambientales. Los cultivares no mostraron diferencias significativas entre ellas.

Tabla 13: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Fecha de Cosecha.

Material	Fecha de Cosecha (semana de calendario bananero)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 2	15	46,13 a	3,24	14	21,85 abc	3,39	12	18,88 ab	3,74	15	21,00 ab	3,24	56	26,96 a	1,70
Test 3	13	43,47 a	3,55	12	22,35 abc	3,74	13	19,45 ab	3,55	15	25,47 b	3,24	53	27,68 a	1,76
Test 1	15	44,73 a	3,24	14	31,12 c	3,39	14	14,30 a	3,39	15	21,47 ab	3,24	58	27,90 a	1,66
Test 4	15	45,93 a	3,24	15	25,80 bc	3,24	14	19,08 ab	3,39	15	25,33 b	3,24	59	29,04 a	1,64

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

Las mismas consideraciones de semana de embolsado para esta variable, altamente influenciada por las condiciones ambientales de cada ciclo de producción, no así entre cultivares, las cuáles no mostraron diferencias significativas entre ellas, sin embargo, el Test 4 fue el que se cosechó más tarde.

Tabla 14: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Hojas a Cosecha.

Material	Hojas a Cosecha														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 3	7	6,56 b	1,82	11	1,42 a	0,57	13	2,57 ab	0,52	14	3,08 abc	0,49	45	3,48 a	0,58
Test 4	8	6,24 ab	1,37	15	2,47 ab	0,47	14	3,27 b	0,49	13	3,34 bc	0,52	50	3,83 a	0,40
Test 1	8	6,76 b	1,37	14	2,51 ab	0,49	14	3,85 b	0,49	14	2,76 ab	0,49	50	3,97 a	0,40
Test 2	7	6,15 ab	1,60	14	2,56 ab	0,59	12	3,53 b	0,54	12	4,74 c	0,54	45	4,19 a	0,46

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

No hay diferencias significativas entre los testigos, en cantidad de hojas a cosecha. Las variaciones en la expresión de los fenotipos estuvieron totalmente influenciadas por las variaciones ambientales.

Tabla 15: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Peso del Raquis.

Material	Peso de Raquis (kilogramos)														
	2016 - 2017				2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años	
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	2,87 a	0,17	14	2,30 abc	0,18	14	2,40 abc	0,18	14	1,94 a	0,18	57	2,38 a	0,09
Test 2	15	2,79 ab	0,17	14	2,53 bc	0,18	12	2,66 bc	0,20	12	2,23 ab	0,20	53	2,55 ab	0,10
Test 3	13	2,77 ab	0,19	8	2,14 bc	0,26	13	2,67 bc	0,19	14	2,59 bc	0,18	48	2,69 b	0,10
Test 4	15	3,65 c	0,17	13	3,11 c	0,19	14	3,09 c	0,18	13	2,92 c	0,19	55	3,19 c	0,09

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 1

Muestra una clara influencia de las condiciones ambientales y diferencias significativas entre los testigos, siendo el Test 4 el más pesado.

Tabla 16: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Peso Total.

Material	Peso Total (kilogramos)														
	2016 - 2017				2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años	
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	21,40 a	1,17	14	19,94 a	1,23	14	22,84 ab	1,23	14	18,43 a	1,23	57	20,65 a	0,61
Test 3	14	22,56 a	1,23	14	22,05 ab	1,23	12	24,38 b	1,36	12	20,95 ab	1,36	47	21,71 ab	0,71
Test 2	12	21,95 a	1,35	8	21,42 ab	1,74	13	22,80 ab	1,29	14	20,68 ab	1,23	52	22,49 b	0,65
Test 4	15	28,18 b	1,17	13	24,12 b	1,29	14	24,55 b	1,23	13	22,57 ab	1,29	55	24,86 c	0,66

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,94

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron altamente debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica solo el 6,00 % de las variaciones fenotípicas observadas. El Test 4 es significativamente diferente al resto, con un peso de 24,86 kg por cacho cosechado.

Tabla 17: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Peso de las Mano 1 a 4.

Material	Peso de Mano 1 - 4 (kilogramos)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 – 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	13,35 ab	0,68	14	14,11 ab	0,71	14	15,25 ab	0,71	14	11,97 a	0,72	57	13,67 a	0,35
Test 3	12	13,03 a	0,79	8	15,30 b	1,01	13	14,42 ab	0,75	14	13,39 ab	0,71	47	14,03 a	0,41
Test 2	14	13,72 ab	0,71	14	15,22 b	0,71	12	15,6 b	0,79	12	13,85 ab	0,79	52	14,60 a	0,38
Test 4	15	16,39 c	0,68	13	16,23 bc	0,75	14	15,55 b	0,71	13	14,37 bc	0,75	55	15,64 b	0,36

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,64

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron altas, debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica el 36,00 % de las variaciones fenotípicas observadas Solo el test 4 tiene diferencias significativas para el peso de manos 1 a 4 con un valor de 15,64 kg.

Tabla 18: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Peso de las Manos 5 a 9.

Material	Peso de mano 5 - 9 (kilogramos)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	8,05 ab	0,59	14	5,82 a	0,61	14	7,59 a	0,61	14	6,49 a	0,62	57	6,98 a	0,30
Test 3	12	8,92 b	0,68	8	6,13 ab	0,87	13	8,38 ab	0,65	14	7,29 ab	0,61	47	7,68 a	0,35
Test 2	14	8,84 b	0,61	14	6,83 ab	0,61	12	8,79 ab	0,68	12	7,11 ab	0,68	52	7,89 a	0,32
Test 4	15	11,79 c	0,59	13	7,90 bc	0,65	14	9,00 bc	0,61	13	8,20 bc	0,65	55	9,22 b	0,31

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,94

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron altamente debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica solo el 6,00 % de las variaciones fenotípicas observadas.

Tabla 19: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Diámetro del Dedo de la Segunda Mano.

Material	Diámetro Dedo Segunda Mano (milímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 1	15	36,93 a	0,60	14	38,52 a	0,63	14	37,92 a	0,63	14	36,88 a	0,63	57	37,58 a	0,31
Test 3	12	37,27 a	0,69	8	38,52 a	0,89	13	37,01 a	0,66	14	37,68 a	0,63	47	37,62 a	0,36
Test 4	15	37,25 a	0,60	13	38,35 a	0,66	14	37,07 a	0,63	13	38,10 a	0,66	55	37,69 a	0,32
Test 2	14	36,73 a	0,63	14	38,42 a	0,63	12	37,49 a	0,69	12	38,64 a	0,69	52	37,82 a	0,33

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

Es una variable influenciada por las condiciones ambientales de cada ciclo de producción, no así entre cultivares, los cuáles no mostraron diferencias significativas entre ellas.

Tabla 20: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Longitud del dedo de la Segunda Mano.

Material	Longitud Dedo Segunda Mano (centímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 3	12	21,34 ab	0,53	8	23,79 ab	0,68	13	22,47 abc	0,56	14	21,86 ab	0,48	47	22,37 a	0,28
Test 1	15	22,30 ab	0,46	14	23,00 ab	0,48	14	23,49 c	0,48	14	21,02 a	0,48	57	22,45 a	0,24
Test 4	15	23,33 bc	0,46	13	24,23 b	0,50	14	22,91 bc	0,48	13	22,27ab	0,50	55	23,18 b	0,24
Test 2	14	23,23 bc	0,48	14	24,06 bc	0,48	12	23,84 c	0,53	12	22,57 ab	0,53	52	23,43 b	0,25

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,43

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron relativamente altas, debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica el 57,00 % de las variaciones fenotípicas observadas.

Tabla 21: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Diámetro del Dedo de la Última Mano.

Material	Diámetro Dedo Última Mano (milímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 3	12	34,90 ab	0,65	8	35,58 ab	0,84	13	34,58 a	0,62	14	34,20 a	0,59	47	34,81 a	0,34
Test 4	15	34,19 a	0,56	13	36,25 ab	0,62	14	34,66 a	0,59	13	35,27 ab	0,62	55	35,09 a	0,30
Test 2	14	34,42 a	0,59	14	35,72 ab	0,59	12	35,38 ab	0,65	12	35,95 ab	0,65	52	35,37 a	0,31
Test 1	15	34,72 a	0,56	14	36,71 b	0,59	14	36,03 ab	0,59	14	34,46 a	0,59	57	35,49 a	0,29

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

Es una variable influenciada por las condiciones ambientales de cada ciclo de producción, no así entre cultivares, los cuáles no mostraron diferencias significativas entre ellas.

Tabla 22: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Longitud del Dedo de la Última Mano.

Material	Longitud Dedo Última Mano (centímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 3	12	17,24 a	0,40	8	19,41 ab	0,51	13	18,70 abc	0,38	14	17,25 a	0,36	47	18,15 a	0,21
Test 1	15	17,57 ab	0,34	14	19,42 ab	0,36	14	19,14 ab	0,36	14	17,24 a	0,36	57	18,34 ab	0,18
Test 2	14	18,38 ab	0,36	14	19,61 a	0,36	12	19,29 b	0,40	12	18,07 ab	0,40	52	18,84 b	0,19
Test 4	15	18,57 bc	0,34	13	19,85 b	0,38	14	18,66 abc	0,36	13	17,99 ab	0,38	55	18,77 b	0,18

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0,24

Para esta variable las variaciones fenotípicas fueron, en parte, debidas a variaciones genéticas entre los testigos. Así se observa que la componente de variación ambiental explica el 76,00 % de las variaciones fenotípicas observadas. Solo el Test 3 muestra diferencias significativas, siendo el de menor longitud de dedo.

Tabla 23: Valores medios por testigo y por ciclo de producción para la variable Grosor de Cáscara.

Material	Grosor de Cáscara (milímetros)														
	2016 - 2017			2017 - 2018			2018 - 2019			2019 - 2020			Media 4 años		
	N	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.	n	Media	E. E.
Test 2	14	3,45 ab	0,14	14	3,71 ab	0,14	12	3,24 a	0,16	12	3,85 b	0,16	52	3,56 a	0,07
Test 3	12	3,63 ab	0,16	8	3,71 ab	0,20	13	3,40 ab	0,15	14	3,55 ab	0,14	47	3,57 a	0,08
Test 4	15	3,6 ab	0,13	13	3,70 ab	0,15	14	3,48 ab	0,14	13	3,68 ab	0,15	55	3,61 a	0,07
Test 1	15	3,82 b	0,13	14	3,84 b	0,14	14	3,53 ab	0,14	14	3,60 ab	0,14	57	3,70 a	0,07

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HEREDABILIDAD: 0

Es una variable influenciada por las condiciones ambientales de cada ciclo de producción, no así entre cultivares, los cuáles no mostraron diferencias significativas entre ellos.

3.2 Resultados de los 140 Clones en dos ciclos de evaluación (2016-2017 y 2017-2018).

Como en el análisis de los testigos no se detectaron efectos significativos entre bloques dentro de años, no fue necesario aplicar correcciones a los valores fenotípicos de los clones. Si bien como se explicó en materiales y métodos no se estimó la interacción debido al diseño aumentado, al no detectar en los análisis anteriores un efecto significativo de esta fuente de variación se considera que no se pierde resolución estadística (Tabla 24).

Tabla 24: Comparación de valores medios (Media) a través de 2 años de evaluación, errores estándares correspondientes (E.E), valor máximo, valor mínimo y repetibilidad (Repet) para las variables.

Variables	Media	E.E.	Valor Mínimo	Valor Máximo	Repet
Altura de Planta (m)	3,53	0,27	2,95	4,03	0,20
Circunferencia de pseudotallo (cm)	78,91	6,94	67,50	91,00	0,28
Hojas a Floración	10,73	1,15	8,50	13,00	0,12
Número de manos a Floración	10,77	1,30	7,50	13,00	0,22
Fecha de Embolsado (semana)	25,24	6,16	9,85	36,50	0,23
Fecha de Cosecha (semana)	35,63	17,29	11,83	59,83	-0,03
Hojas a Cosecha	3,94	1,93	1,03	7,00	-0,05
Peso del Raquis (kg)	2,96	0,76	0,96	4,14	0,13
Peso Total (kg)	25,11	5,25	9,88	33,35	0,23
Peso mano 1 a 4 (kg)	16,08	2,95	8,70	21,55	0,23
Peso mano 5 a 9 (kg)	9,03	3,17	1,17	13,11	0,11
Diámetro dedo Segunda Mano (mm)	38,74	3,14	19,50	26,50	0,05
Largo dedo Segunda Mano (cm)	23,44	1,88	21,60	43,00	0,02
Diámetro dedo Última Mano (mm)	36,31	2,44	30,99	41,50	0,09
Longitud dedo Última Mano (cm)	19,13	1,51	16,00	21,50	0,01
Grosor de Cáscara (mm)	3,68	0,57	2,60	4,75	-0,02

Altura de planta

La variable tiene una media de 3,53 m en el momento de la floración. Un grupo de 6 clones (14024, 14038, 14073, 14033, 14131 y 14082) tiene menos de 3,10 m, donde el clon 14024 manifiesta la menor altura y un grupo de 5 clones (14061, 14066, 14012, 14068 y 14054) que superan los 3,90 m de altura siendo el clon 14061 el de mayor altura con 4,02 m. Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que el 20% de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Circunferencia de Pseudotallo

La variable tiene una media de 78,91 cm. Un grupo de 14 clones no superan los 72 cm, el clon 14070 manifiesta la menor medida con 67,50 cm y un grupo de 12 clones que

superan los 85 cm de circunferencia, siendo los clones 14092 y 14101 los que se destacaron con 91,00 cm. Hay diferencias significativas entre los dos grupos, no así entre ellos y la media.

Hojas a Floración

Los clones se comportaron de acuerdo a la bibliografía, el número de hojas puede estar bajo control genético simple y definir el número de hojas, en este caso, tanto aquellos clones con menos hojas (14085, 14086, 14081, 14111 y 14060), como los de mayor número de hojas (14044, 14033, 14140, 14122 y 14054), no tuvieron diferencias significativas con la media del ensayo de 10,73 hojas.

Número de Manos a Floración

Los clones para esta variable con menor número de manos presentaron 8 (14070, 14067 y 14033), y los de mayor número (14092, 14080 y 14129) con 13 manos. Todos los clones con rendimiento alto, tuvieron más de 11 manos a floración.

Fecha de Embolsado

Los clones para esta variable tuvieron una media de 25,24 (cuarta semana de febrero). Los clones con menores valores para embolsado fueron en la semana 15 (segunda semana de diciembre), con un valor extremo (clon 14086) en la semana 10 (segunda semana de noviembre), en tanto que los máximos valores fueron alcanzados entre las semanas 35 con un valor extremo (clon 14047) de 36,50 semanas (tercera semana de mayo), sin diferencias significativas entre ellos.

Fecha de Cosecha

Esta variable tuvo una media de 35,63 (primera semana de mayo), sin diferencias significativas entre los clones, por este motivo la repetibilidad es nula, ya que no se detectaron diferencias significativas entre los clones durante los dos años de evaluación.

Hojas a Cosecha

La variable tiene una media de 3,94 hojas por clon, en el momento de la cosecha. Un grupo de 18 clones tiene menos de dos hojas, el clon 14047 tiene el menor valor 1,03 hojas y un grupo de 40 clones que superan las 5 hojas en cosecha, el clon 14057 se cosechó con 7 hojas. Las condiciones ambientales tienen enorme influencia, solo el clon 14047 (1,03 hojas) difieren significativamente de los clones 14070 (6,5 hojas) y 14057 (7 hojas).

Peso del Raquis

La variable tiene una media de 2,96 kg, un grupo de 30 clones no supera los 2,5 kg, mientras que un grupo de 46 clones superan el valor del Test 4 (3,19 kg), el cual se diferenció significativamente del resto de los testigos; dentro de este grupo, el mayor valor lo alcanzó el clon 14057 con 4,14 kg. Salvo tres clones correspondiente a los extremos opuestos, no se encontraron diferencias significativas entre ellos.

Peso Total

La variable tiene una media de 25,11 kg, solo el clon 14033 (9,88 kg) muestra diferencias significativas con respecto al valor medio. El mayor valor lo alcanzó el clon 14133 con 33,35 kg.

Peso de la Mano 1 a 4

La variable tiene una media de 16,08 kg, solo dos clones 14125 y 14033 con 8,70 y 8,71 kg respectivamente, muestra diferencias significativas con respecto al valor medio. El mayor valor lo alcanzó el clon 14034 con 21,55 kg.

Peso de la Mano 5 a 9

La variable tiene una media de 9,03 kg, solo dos clones 14088 y 14138 con 4,47 y 4,69 kg respectivamente, muestra diferencias significativas con respecto al valor medio. El mayor valor lo alcanzó el clon 14051 con 13,11 kg.

Diámetro Dedo de la Segunda Mano

La variable Diámetro del Dedo de la Segunda Mano tiene una media de 38,74 mm, los clones 14114 con 21,60 mm y 14087 con 34,20 mm fueron los de menor valor, los clones 14060 con 42,70 y 14129 con 43,00 mm alcanzaron los mayores valores. Solo el clon 14114 difiere significativamente del resto de los materiales.

Largo del Dedo de la Segunda Mano

La variable Largo del Dedo de la Segunda Mano tiene una media de 23,44 cm, los clones 14001 con 19,50 cm y 14095 con 20,00 cm fueron los que alcanzaron menor longitud, un grupo de clones (14008, 14043, 14074, 14091, 14133, 14075 y 14083) alcanzaron los 26 cm de longitud, destacándose los clones 14075 y 14083 con 26,5 cm. Hay diferencias significativas entre estos dos grupos.

Diámetro del Dedo de la Última Mano

Diámetro del Dedo de la Última Mano tiene una media de 36,31 mm, el clon 14125 con 30,99 mm tiene el menor valor y los clones 14069 con 40,01 mm y 14129 con 41,50 mm alcanzaron los mayores valores. Estos grupos difieren significativamente entre ellos, no con la media del ensayo.

Longitud del Dedo de la Última Mano

La Longitud del Dedo de la Última Mano tiene una media de 19,13 cm, los clones 14059, 14025 y 14073 no superan los 17 cm de largo en tanto que los clones 14054, 14034 y 14051 superaron los 21,50 cm. Hay diferencias significativas entre estos dos grupos.

Grosor de Cáscara

La variable grosor de cáscara tiene una media de 3,68 mm, un grupo de clones (14024, 14006, 14065 y 14092) estuvieron por debajo de los 3,00 mm siendo el clon 14024 con 2,60 mm el de menor grosor de cáscara, otro grupo (14048, 14108, 14099 y 14129) teniendo el clon 14048 el mayor grosor de cáscara con 4,75 mm. Hay diferencias significativas entre estos dos grupos, pero ninguno de ellos se diferencia de la media del ensayo.

4. DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en este trabajo de tesis evidencian que en las condiciones agroecológicas locales permiten obtener valores similares a los encontrados en zonas productoras de banana tradicionales en el nivel internacional para caracteres de interés agronómico.

Se considera un solo cacho o racimo por unidad de producción (planta) en el año, es decir la producción que se logra en el período primavera-estivo-otoñal, a diferencia de los trópicos que permite tres cosechas de la misma unidad en dos años de producción.

A continuación, se discutirán los estados separando entre caracteres vegetativos y productivos.

4.1 Caracteres vegetativos

Altura de Planta

La altura de planta es una de las variables más importantes del cultivo, a mayor altura, más difícil es trabajar el cacho (desmane, desflore, embolsado y finalmente la cosecha), aumentado el tiempo operativo de las labores, afectando la rentabilidad y tiene una correlación directa con el vuelco de la planta en la etapa final del llenado de la fruta, cuando el cacho se pone pesado, afectando directamente el rendimiento.

En las condiciones tropicales, donde mejor se desarrolla el cultivo de banana, los cultivares comerciales más difundidas a nivel mundial, entre ellas Gran Enano y Williams, mantienen una altura en las fincas productoras entre los 3,00 y 3,30 m (Soto Ballesteros 2008; Robinson y Galán Sauco 2012; Torres Bazurto, 2016 y Mira y Sánchez, 2013). En las condiciones locales los testigos se han comportado de manera similar, teniendo los cultivares liberadas al mercado más recientemente, Test 2 y Test 3, unos centímetros menos que Gran Enano y Williams, consistente con el mejoramiento, en búsqueda de más tolerancia y/o resistencia a los vientos y facilidad de cosecha.

Hay tres factores ambientales que tiene una enorme influencia sobre esta variable, el más importante es la pudrición de raíces producida por un exceso de humedad (Soto Ballesteros, 2008; Galán Sauco y Robinson 2013) y la pérdida de plantas, derivado de la falta de anclaje, el suelo de esta región productora tiene un drenaje muy limitado, asociado a la presencia de meses muy lluviosos, que mantienen sobre saturados los suelos. Los otros dos factores son las bajas temperaturas y el viento, en ese orden de importancia. Cuando se atrasa

la cosecha y se entra en el invierno con alguna helada temprana, la planta removiliza demasiados nutrientes desde el pseudotallo y el mismo se debilita, los productores apuntalan las plantas con cañas para evitar la pérdida de la producción. En cuanto al viento, la temporada ventosa (agosto-septiembre), no produce efecto alguno en ese momento de la etapa del desarrollo del cultivo, pero cuando ocurren tormentas con ráfagas cerca de cosecha (abril - mayo) con el cacho pesado, provoca serias pérdidas (Figura 20).



Figura 20: Izquierda, planta caída debido a pudrición de raíces, ciclo 2019-2020 en el ensayo. Centro, planta apuntalada por cañas, a la entrada del invierno. Derecha, ráfaga de viento ciclo 2016-2017 en campo de productor con un 20 – 30 % de plantas perdidas.

Previo ingreso al ensayo, los materiales fueron seleccionados en campo de productores por altura, aquellos que superaban los 3,80 m fueron descartados y el marco de plantación propuesto tiene una densidad de plantas mucho menor al del productor (entre 400 a 600 plantas menos por hectárea). Se esperaba que la altura esté por debajo de los 3,80 m y/o al menos se mantuviera. Sin embargo, muchos de los clones incrementaron los valores de esta variable, inclusive se superó los 4,00 m.

En el rango de altura de planta que, en principio, se había considerado como más adecuado (3,30 m – 3,50 m), quedaron incluidos 68 clones y los testigos, siendo el clon 14024 con 2,95 m, el de menor altura del ensayo y tres clones (14038, 14073 y 14033) con 3,00 m, no obstante, solo uno de los clones de este grupo (14133 con 3,43 m) superó a los testigos en rendimiento; un segundo grupo de 52 clones entre 3,51 m y 3,80 m que se destacaron por sus rendimientos y un tercer grupo de 13 clones superaron los 3,80 m, inclusive uno de los clones más rendidores (14054) tiene una altura de 3,90 m y tres de ellos estuvieron por arriba de los 4 metros (14061 con 4,03 m, 14066 con 4,03 m y 14012 con 4,02 m).

Esta variable podría estar relacionada con la tolerancia al frío, en el ambiente local, las heladas agronómicas se dan por radiación térmica (enfriamiento de suelo) y dependiendo de

la duración, las bajas temperaturas alcanzan mayores alturas desde el nivel del suelo, influyendo con más intensidad en los genotipos bajos, llevando al productor a seleccionar de manera intuitiva los clones más altos.

Circunferencia de Pseudotallo

La circunferencia está en relación directa con el tipo de clon, y luego con el vigor de la planta, resultado de su estado de crecimiento (Soto Ballester, 2008). El diámetro del pseudotallo se considera como un índice de gran valor para medir el vigor de la planta.

En condiciones tropicales, los cultivares comerciales más difundidas, entre ellas Gran Enano, Valery y la ya prácticamente desaparecida a nivel comercial Gros Michel, tienen una circunferencia de pseudotallo de 65, 65 y 69 cm respectivamente (Soto Ballester, 2008) y una vez cosechado el cacho, se elimina el pseudotallo desde la base, literalmente se destronca, este genera condiciones para la aparición de enfermedades y plagas, especialmente la del picudo bananero (*Cosmopolites sordidus* (Germar 1824)). Las temperaturas, humedad ambiental y el porcentaje de agua que contiene sus tejidos, permiten una transformación rápida en materia orgánica y con ello una disponibilidad de los nutrientes.

En el ambiente local los cultivares Williams (73,15 cm), Jaffa (73,35 cm) y Gal (71,73 cm) se diferenciaron del cultivar Gran Enano (82,48), referenciando a tipo de clon, en tanto que las condiciones ambientales que influyen en el vigor, modificaron el valor de la variable. Gran Enano, que en el trópico tiene una circunferencia de 65 cm (Soto Ballester, 2008), en la producción local alcanza una circunferencia de 82,48 cm. La duración de las etapas no solo varía dentro de cada ciclo biológico, sino también con las condiciones ecológicas, la latitud y la altura (Tabares y Falques, 1997).

Un total de 65 clones quedaron por debajo de la media del ensayo, los clones 14070 y 14067 con 67,5 cm, los más delgados, en tanto que, los clones con mayor valor fueron 14092 y 14101 tuvieron 91 cm de circunferencia. Tanto el mejor testigo (Test 4), como todos los clones de mayor rendimiento tiene el pseudotallo encima de la media, solo tres de ellos (14133, 14075 y 14043) quedaron por debajo de la media, pero sin diferencias significativas. La media del mejor testigo para esta variable fue de 82,48 cm y un grupo de 38 clones superaron ese valor.

La influencia de las reservas hídricas y amiláceas acumuladas en el pseudotallo, permite disponer de manera inmediata de esos recursos para arrancar el nuevo ciclo de producción, después del invierno.

Hojas a Floración

La superficie foliar total varía de una planta a otra y en el momento de floración hay 12 a 13 hojas funcionales. En ensayos llevados adelante en Costa de Marfil se constató que el número de hojas emitidas y el tiempo de emisión, son características fijas (Soto Ballester, 2008). Al momento de floración las plantas de banana llegan con 12 – 14 hojas, bajo las mismas condiciones agronómicas de cultivo, los cultivares Williams y Gran Enano se comportan de manera similar (Mira y Sánchez, 2013; Gubbuk et al., 2020).

Los clones se comportaron de acuerdo a la bibliografía, parece estar definido el número de hojas y en este caso, tanto aquellos clones con menos hojas (14085, 14086, 14081, 14111 y 14060), como los de mayor número de hojas (14044, 14033, 14140, 14122 y 14054), no tuvieron diferencias significativas con la media del ensayo de 10,73 hojas.

Número de Manos a Floración

El meristema, una vez que pasa al estado reproductivo, produce entre 5 y 14 glomérulos de flores pistiladas, que depende en primer lugar, del desarrollo de la planta, en segundo, por las condiciones ambientales imperantes y, por último, del manejo que se le dio al cultivo hasta ese momento (Soto Ballester, 2008).

A diferencia del trópico, el ambiente de producción local, el invierno o más exactamente las temperaturas por debajo de 16 °C paraliza para la mayoría de los cultivares el desarrollo del banano (Robinson y Galán Saúco, 2012), desplazando esta variable (desarrollo de la planta) del primer lugar en importancia. Esta posición la toma las condiciones ambientales que predominan en cada ciclo de producción, seguido por el manejo previo a la llegada del invierno.

En números de manos a floración se diferencia significativamente el Test 4 del resto de los testigos (Test 1, Test 2 y Test 3), con un valor de 11,64 manos. Los clones para esta variable con menor número de manos presentaron 8 (14070, 14067 y 14033), y los de mayor número (14092, 14080 y 14129) con 13 manos. Todos los clones con rendimiento alto, tuvieron más de 11 manos a floración.

Fecha de Embolsado y Fecha de Cosecha

La fecha de embolsado es una variable de extrema importancia en los países exportadores, los embarques deben tener la misma madurez fisiológica, empacándose solo fruta de una determinada semana, unas pocas cajas con una madurez fisiológica más avanzada, actúa como gatillo e inicia la maduración de todo el embarque.

La fecha de cosecha no tiene mucha importancia en los trópicos, la uniformidad de las condiciones, especialmente las temperaturas, permiten un desarrollo y crecimiento uniforme todo el año.

En las condiciones locales de producción tiene una importancia relevante en rendimiento y calidad comercial. No se hallaron diferencias significativas entre los testigos, con una fecha correspondiente a la semana 23,73 (tercera semana de febrero). Los clones para esta variable tuvieron una media de 25,24 (cuarta semana de febrero). Los clones con menores valores para embolsado fueron en la semana 15 (segunda semana de diciembre), con un valor extremo (clon 14086) en la semana 10 (segunda semana de noviembre), en tanto que los máximos valores fueron alcanzados entre las semanas 35 con un valor extremo (clon 14047) de 36,50 semanas (tercera semana de mayo).

Tanto aquellos clones que se embolsan en las semanas 9 a 13 y los que se embolsan en las semanas 43 a 40 sufren las consecuencias del frío, teniendo cachos más chicos y de peor calidad comercial. Estas variables nos permiten conocer meses antes, el momento aproximado de la cosecha, la cantidad y su calidad para destinar a mercados locales o nacionales.

La variable fecha de cosecha no tuvo diferencias significativas entre los testigos. Los clones para esta variable tuvieron una media de 35,63 (primera semana de mayo), sin diferencias significativas entre ellos.

Hojas a cosecha

En ensayos llevados adelante en Costa de Marfil se constató, a través de la defoliación, que el mantenimiento de 8 hojas es suficiente para obtener un desarrollo normal del cacho hasta la cosecha (Soto Ballester, 2008). Un número menor de hojas no solo implica menor rendimiento, sino también madurez despareja, inclusive manos dentro del mismo cacho, descartando para la exportación (Galán Sauco y Robinson, 2013).

La Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) produce una defoliación casi total y para mantener las hojas, se realizan numerosos controles (20 – 30) con fungicidas (Orozco-Santos,

et al., 2002; Campo-Arana, et al., 2020). En Formosa solo se realizan cuatro aplicaciones, salvo en años, de extrema severidad del ataque en que se hacen hasta 8 aplicaciones.

El control de Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) en el ensayo se estableció en dos aplicaciones por campaña y una tercera en casos excepcionales, dejando que se exprese la enfermedad, la cual afecta de manera directa el número de hojas a cosecha. Las diferencias encontradas han abierto una puerta en el camino en el control de la Sigatoka, con el fin de bajar aún más y/o eliminar las aplicaciones de fungicidas químicos, puesto que hubo clones que llegan a cosecha con más de seis hojas.

Los testigos no tuvieron diferencias significativas con una media de 3,36 hojas a cosecha, por debajo de la media de los clones con 3,94 hojas. Entre los clones hubo 40 que tuvieron 5 o más hojas entre los que se destacaron la 14057 con siete hojas y 14070 con 6,5 hojas, mientras que 17 de ellos tuvieron 2 hojas o menos a cosecha, siendo la 14047 con una hoja y 14078 con 1,5 hojas los clones más afectados.

4.2 Caracteres productivos

Peso de Raquis

El raquis forma una protuberancia que denominamos corona y es donde se inserta el pedicelo de los dedos, el tamaño del raquis guarda relación con el tamaño de las manos. Ensayos realizados en la República de Guinea determinaron que su peso varía muy poco y en Gran Enano es de 2,76 kg para un cacho de seis manos (Vargas 1983 citado por Soto Ballester, 2008). En las condiciones locales, con 8 manos de promedio, el Peso del Raquis alcanza los 2,96 kg.

El peso está relacionado con el grosor del raquis, haciendo más fuerte la corona que permite un mejor manejo en la cosecha y prolonga la vida en la góndola. Una corona grande evita que los dedos de la mano se desprendan con facilidad en madurez comercial.

Peso Total

Se debe recalcar que, en las regiones tropicales, alrededor del 90% de la población de plantas produce tres cosechas en dos ciclos de producción (Mira y Sánchez, 2013). Previo a la cosecha, cuando se alcanza el peso máximo del cacho, el cultivar Gran Enano tiene 17,48 kg en un cacho destinado a exportación, de seis manos y 45,41 para fruta destinada al consumo interno con 11 manos (Soto Ballester, 2008).

Las regiones productoras de Argentina, obtienen una sola cosecha anual, concentrada a fines de otoño, principio del invierno. En el análisis del ensayo se destacó un grupo de 73 clones superaron el valor del mejor testigo Test 4 (Gran Enano) de 24,86 kg con 7,4 manos a cosecha. En principio, estos resultados concuerdan con lo esperado en el inicio (2005) de las actividades de este proyecto, sin embargo, investigaciones llevadas adelante en Antalya, Turquía (Lat 36°52'N. Lon 30°44'E), pero en este caso, bajo condiciones de invernadero, que discrepan en los resultados, sus materiales locales han sido superados por las introducciones, siendo el cultivar introducido Williams, el que destacó ampliamente en esos ambientes (Gubbuk et al., 2020).

Peso de Mano 1 a 4 y Peso de Mano 5 a 9

Según estudios de Vargas (1983) mencionado por Soto Ballesteros (2008), en un cacho de 9 manos, la variación porcentual entre la primera y la última mano es del 43,8 % para el clon Gran Enano, razón por la cual, solo se dejan seis manos para obtener uniformidad en la fruta destinada a la exportación.

Los materiales locales se han comportado de manera similar, reduciendo los valores medios entre las variables Peso de mano 1 – 4 y la variable Peso de Mano 5 – 9 en un 37,56%. Esta reducción puede deberse al período de floración cosecha más largo que tienen en las condiciones locales.

Diámetro del Dedo de la Segunda Mano y Largo del Dedo de la Segunda Mano

A medida que crece el diámetro por la acumulación de hidratos de carbono y azúcares, disminuye la duración del período entre corte y madurez de consumo, factor esencial en el mercado internacional del banano, disminuye el intervalo empaque-góndola. Los mercados internacionales no aceptan diámetros inferiores a 31,5 mm (Robinson y Galán Sauco, 2012).

La distancia a mercado juega un papel importantísimo para la producción local, esto permite al productor llevar el diámetro hasta los 40 mm elevando el rendimiento y mejorando el sabor de la fruta. Los clones para esta variable tienen una media de 38,74 mm. Los clones 14060 con 42,70 y 14129 con 43,00 mm alcanzaron los mayores; es necesario destacar que, con estos diámetros y aún superiores, la fruta está tan gorda que, si no se maneja con mucha delicadeza, se parte su cáscara longitudinalmente en el campo, en el empaque en cámara de maduración (Figura 21).



Figura 21: **a.** Daños en campo por exceso de diámetro de los dedos con 43 mm **b** Toma de datos con calibre. **c** Daños en planta de empaque, un pequeño golpecito y la cáscara se raja de punta a punta.

Vargas (1983) mencionado por Soto Ballesteros (2008), determinó longitudes de dedo para la segunda mano de 24,5 cm y de 20,4 cm para la mano 9 del clon gran Enano, también concluyó que se pierde 0,62 cm desde una mano hacia la otra en las condiciones tropicales de producción. La variable Largo del Dedo de la Segunda Mano en los materiales locales tiene una media de 23,44 cm, destacándose los clones 14075 y 14083 con 26,5 cm, mostrando que estos materiales alcanzan la calidad comercial que exige nuestro mercado nacional.

Diámetro del Dedo de la Última Mano y Longitud del Dedo de la Última Mano

Ensayos en Costa Rica, determinaron que la diferencia de diámetro entre la primera y última mano llega hasta 3,8 mm para cachos con 10 manos en el clon Gran Enano (Soto Ballesteros, 2008). El diámetro de las manos inferiores es el más pequeño, es lógico utilizar la última mano para medir el diámetro y determinar el corte de acuerdo a los requerimientos del mercado.

Las condiciones locales permiten llegar con una media de 36,31 mm, siendo los clones 14069 con 40,01 mm y 14129 con 41,50 mm aquellos que alcanzaron los mayores valores.

A diferencia del trópico donde se dejan seis manos (que permite un llenado uniforme de la fruta) para la exportación, se dejan ocho o nueve manos, para mercado interno, que finalizan el llenado con menores temperaturas (entrando al invierno) y el mismo no es uniforme. Cuando la última mano alcanza el 40 mm de diámetro, las primeras manos están pasadas y se parte la cáscara. En la producción local se usa el diámetro de la segunda mano como referencia para el corte.

La longitud de los dedos guarda relación directa con el tamaño del cacho (número de manos), con la ubicación en el cacho (posición de la mano en el raquis) y con el número de dedos en cada mano (Soto Ballester, 2008).

La Longitud del Dedo de la Última Mano en un cacho de 8 manos tiene una media de 19,13 cm y pueden llegar hasta los 21,50 cm. Hay diferencias de 5 cm entre la segunda y última mano. Este valor se puede mejorar notablemente con el desmane más severo del cacho en floración, ganamos calidad comercial, pero perdemos rendimiento.

Grosor de Cáscara

Es una variable muy importante para la comercialización, pues es muy sensible a los golpes durante la cosecha, el empaque y transporte hacia los mercados. Los grosores de cáscara en los cultivares superan los 4,10 mm teniendo el cultivar Gran Enano 4,00 mm en las mediciones realizadas en Costa Rica (Soto Ballester, 2008).

Los materiales locales tienen un grosor de cáscara que van desde los 2,60 mm hasta los 4,74 mm. Los clones que tiene el menor grosor sufren una enorme pérdida de calidad comercial durante el empaque y maduración, la fruta llega muy manchada a góndola. Estos materiales deben ser destinados al mercado local y/o regional.

5. CONCLUSIONES

La evaluación fenotípica de los cultivares internacionales demostró que las condiciones agroecológicas del ambiente de cultivo evaluado en la provincia de Formosa, son aptas para la producción comercial de banana (un cacho por año). Esta evaluación también demostró que no es necesario hacer correcciones debidas al diseño en bloques aumentado cuando se comparen los clones.

En estas condiciones se observó que las variaciones fenotípicas para determinadas variables (Altura de Planta, Circunferencia de Pseudotallo, Número de Manos a Floración, Peso de Raquis y Peso Total) están altamente afectadas por las variaciones genotípicas. Para otras variables (Hojas a Floración, Fecha de Bolsa, Fecha de Cosecha, Hojas a Cosecha, Peso de Mano 5 a 9, Longitud Dedo Segunda Mano, Diámetro Dedo Última Mano y Grosor de Cáscara), las variaciones fenotípicas solo se debieron a variaciones ambientales, en tanto que, para unas pocas variables (Peso de Mano 1 a 4, Longitud Dedo Segunda Mano y Longitud Dedo última Mano), se determinó una situación intermedia.

Habiéndose detectado esto trabajando con cultivares comerciales, la caracterización de un conjunto de clones recolectado en campo de productores evidenció que hay biodiversidad para caracteres de interés productivo a partir de la cual es posible, por un lado, seleccionar para conformar la primera variedad local de banana y por el otro, es necesaria su conservación en un banco de germoplasma.

En el análisis de variancia para Peso Total (Rendimiento), el mejor testigo, Test 4 “Gran Enano”, quedó ubicado en el puesto 73 mostrando, más del 50% de los clones locales seleccionados en campo de productores mejor rendimiento que “Gran Enano”. Esto genera una gran expectativa en el material local como fuente de germoplasma, donde apenas se ha recorrido menos del 2,5% de la superficie cultivada.

Si bien, el ambiente local de producción no logra frutas del tamaño (largo del dedo) de la banana Premium de Importación con dedos de 30 - 32 cm y diámetros de 33 - 35 mm, se dispone un grupo de 27 clones con una longitud superior a los 25 cm, lo cual da, una excelente

calidad comercial. La variable diámetro del dedo es manejable por el productor de acuerdo al precio de mercado en el momento, se pretende llegar a los 40,00 mm para lograr mejor sabor y el máximo rendimiento por planta. El grosor de cáscara permitirá dividir el material en mercados local, regional y nacional, de acuerdo al grosor.

CAPÍTULO III

**“SELECCIÓN DE CLONES PROMISORIOS ENTRE LA BIODIVERSIDAD DE BANANA
RECOLECTADA EN CAMPOS DE PRODUCTORES Y CONFORMACIÓN DE LA
PRIMERA VARIEDAD ARGENTINA PARA LIBERAR A LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS
EN EL CORTO PLAZO”.**

1. INTRODUCCIÓN

El conjunto de todos los clones diferentes de banana del subgrupo Cavendish encontrados en la región (Colque y Tenaglia, 2009) forma una población con “diversidad genética” adaptada a las condiciones agroecológicas. La selección se efectúa analizando dicha población y eligiendo uno o varios clones específicos, con determinados parámetros agronómicos, manejo y de mercado a partir de la diversidad encontrada en la región.

El desarrollo es una actividad continua que incluye pruebas de variedades mejoradas en diversas áreas agroecológicas y selección que se puede hacer sobre colecciones locales y/o materiales introducidos. Además, para tener una buena elección de rasgos para la selección de genotipos deseables, es necesario entender la naturaleza y magnitud de variación existente en los materiales fitogenéticos disponibles (Wassu et al., 2014). Pero en este sentido falta información sobre el cultivo de banana en el país.

La elección de un cultivar es el factor más importante en el éxito o fracaso en la fruticultura moderna. Se debe hacer especial hincapié en los cultivos perennes, con expectativas de 15-20 años en producción, pues antes de ser reemplazados, deben haberse logrado nuevas variedades mejores por un período similar.

Esto es muy importante porque mientras el rendimiento y la calidad de los nuevos cultivares son evaluados exhaustivamente, previo a la adopción por los productores, la rentabilidad de los mismos no es apreciada hasta después de varios ciclos de producción por parte del agricultor (Park et al., 2003).

Al elegir un cultivar, es necesario considerar todos los aspectos y tomar una decisión de tal manera que se elija aquella variedad que mejor se adapte a los objetivos considerados. Se debe recalcar que cada la decisión se basa en una solución de compromiso y ninguna satisface todos los objetivos (Nedeljković et al., 2021).

Los fruticultores, generalmente tienen dificultades para resumir y describir con precisión el éxito de una variedad debido a la gran cantidad de datos y los diferentes métodos de evaluación que se aplican (Nedeljković et al., 2022).

Para los caracteres cuantitativos evaluados en varios ciclos, es necesario calcular la repetibilidad y la interacción genotipo por año, de acuerdo a Letcher et al., (2011) y Mariotti y Collavino (2014). Entre los clones evaluados de esta manera, se recomienda seleccionar al 15 o 20% superior.

Por lo tanto, se han propuesto distintas metodologías para construir Índice de Selección (IS) en base al comportamiento de los clones en varias campañas y para diferentes caracteres.

En este capítulo, se propone la evaluación rigurosa de clones seleccionados mediante un índice construido con base en Análisis de Componentes Principales, que respondan a un cultivo de banana moderno y resilientes ante el cambio climático.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Construcción del Índice de Selección

Durante los ciclos 2016 – 2017 y 2017 – 2018 se evaluaron 140 clones de banana, mediante 10 caracteres fenotípicos cuantitativos relacionados con la aptitud agronómica, como fue informado en el capítulo anterior. Con los datos ya presentados, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para el establecimiento de criterios de selección. Debido a la presencia de datos faltantes, el ACP se aplicó a 124 clones

Se construyó un índice ponderando a las variables cuya contribución a cada componente supere los 2/3 del correspondiente coeficiente máximo en valor absoluto por la inercia (autovalor) explicada en cada eje.

2.2 Selección de los clones promisorios

Los clones se ordenaron de acuerdo al índice calculado en orden descendiente y se seleccionaron los primeros 30 (25 %) en función del valor ponderado por el índice.

2.3 Evaluación de los 30 clones seleccionados

Los 30 clones seleccionados se caracterizaron con las metodologías descriptas en el Capítulo II durante 4 campañas (2016 – 2017, 2017 – 2018, 2018 – 2019 y 2019 -2020).

De igual manera que en el Capítulo 2, se aplicó un ANOVA a dos criterios de clasificación: años y clones. Dado que no se contaba con repeticiones por clon, motivo por el cual se usó el diseño aumentado descrito previamente, no se pudo desglosar la interacción clon x año. De este ANOVA, en los casos en que se detectaron diferencias significativas entre clones, se calculó la repetibilidad para las variables que formaron parte del índice de selección en este conjunto de 30 clones seleccionados por su mejor aptitud agronómica en el ambiente de producción de Formosa.

3.RESULTADOS

3.1 Construcción del Índice de Selección.

Los dos primeros ejes del ACP explicaron el 47,31 % de la variabilidad de los datos (30,23 % el primero 17,08 % el segundo). Las variables que más contribuyeron a la formación de primera componente fueron: peso de las manos, peso del raquis, diámetro de la planta y longitud de la segunda mano. Las variables que más contribuyeron a la formación de la segunda fueron: diámetro de la última mano, diámetro de la segunda mano, altura, diámetro y cantidad de manos.

Variable	CP 1	CP 2
Altura de Planta (AP)	0,550	-0,560
Circunferencia de Pseudotallo (CP)	0,626	-0,538
Número de Manos a Floración (NMF)	0,496	-0,460
Peso de Raquis (PR)	0,784	-0,035
Peso de Manos (PM)	0,859	0,198
Diámetro Dedo Segunda Mano (DDSM)	0,183	0,469
Longitud Dedo Segunda Mano (LDSM)	0,682	0,343
Diámetro Dedo Última Mano (DDUM)	0,348	0,679
Número de Hojas (NH)	0,407	-0,0817
Grosor de Cáscara (GC)	-0,109	0,108

Tabla 25: Correlaciones de las variables con dos primeras componentes. Para las variables que formaron parte del índice de selección, remarcadas en negrita, se indica la abreviatura que se usará en las secciones siguientes.

En base a los datos presentados en la Tabla 25, el Índice de Selección construido fue:

$$\text{Índice de Selección} = 0,3023*(0,550*AP + 0,626*CP + 0,784*PR + 0,859*PM + 0,682*LDSM) + 0,1708*((-0,56)*AP + (-0,538)*CP + (-0,46)*NMF + 0,469*DDSM + 0,679*DDUM)$$

3.2 Selección de los 30 mejores clones

Se procedió a ordenar a los genotipos de acuerdo a dicho índice y se seleccionaron los mejores clones. Los 30 clones seleccionados se muestran en la Tabla 26

	Clon		Clon		Clon
1	14134	11	14113	21	14065
2	14083	12	14034	22	14046
3	14092	13	14121	23	14043
4	14080	14	14002	24	14100
5	14098	15	14091	25	14075
6	14051	16	14097	26	14120
7	14032	17	14016	27	14133
8	14023	18	14123	28	14017
9	14140	19	14012	29	14135
10	14129	20	14122	30	14062

Tabla 26. Listado de clones seleccionados mediante el índice selección construido a través de Análisis de Componentes Principales.

a. Evaluación de los 30 clones seleccionados

Para todas las variables evaluadas durante 4 campañas, se encontraron diferencias significativas entre años. Solo para algunos caracteres se detectaron diferencias significativas entre clones, y en estos casos, la variación entre clones fue siempre menor a la variación entre años. En la Tabla 27 se muestran los resultados obtenidos para las variables que forman parte del índice de selección y sus diferencias con la población de estudio.

Tabla 27: Comparación de valores medios (Media) a través de 4 años de evaluación, errores estándares correspondientes (E.E), valor máximo, valor mínimo y repetibilidad (Repet) para las variables que formaron el índice de selección entre la población original y las 30 líneas seleccionadas.

Variables	Población de Estudio (140 clones)					Índice de Selección (30 clones)				
	Media	E.E.	Valor Mínimo	Valor Máximo	Repet	Media	E.E.	Valor Mínimo	Valor Máximo	Repet
AP (m)	3,53	0,27	2,95	4,03	0,20	3,62	0,25	3,29	3,92	0,20
CP (cm)	78,91	6,94	67,50	91,00	0,28	82,37	2,70	75,00	89,50	0,03
NMF	10,77	1,30	7,50	13,00	0,22	11,26	1,28	10,00	12,91	0,14
PR (kg)	2,96	0,76	0,96	4,14	0,13	3,02	0,84	2,13	3,52	0,05
PT (kg)	25,11	5,25	9,88	33,35	0,23	26,77	5,51	21,85	30,24	0,06
DDSM (mm)	38,74	3,14	21,60	43,00	0,05	38,70	3,93	31,30	41,60	0,03
LDSM (cm)	19,13	1,51	16,00	21,50	0,09	23,66	2,02	20,46	26,00	0,19
DDUM (mm)	36,31	2,44	30,99	41,50	0,01	36,32	2,77	30,61	40,43	0,09

AP (Altura de Planta), CP (Circunferencia de Pseudotallo), NMF (Número de Manos a Floración), PR (Peso Raquis), PT (Peso Total), DDSM (Diámetro Dedo Segunda Mano), LDSM (Longitud Dedo Segunda Mano) y DDUM (Diámetro Dedo Última Mano).

A continuación, se hará una breve Interpretación de los resultados para cada variable:

Altura de planta

Esta variable tuvo una media de 3,62 m. Se destacan un grupo de 6 clones 14120, 14135, 14123, 14091, 14133 y 14016 que tuvieron un valor por debajo de la media del ensayo, siendo el clon 14120 el que tiene la menor altura 3,29 m y un grupo de 4 clones 14046, 14023, 14065 y 14012 cuya media superan los 3,80 m de altura. De éstos, el clon 14012 fue el de mayor altura con 3,92 m. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (dato no presentados). Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que solo el 20% de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Circunferencia de Pseudotallo

La variable tuvo una media de 82,47 cm. Cinco clones 14065, 14091, 14140, 14016 y 14008 no superaron los 80 cm, el clon 14065 manifestó la menor medida con 75,00 cm de circunferencia y hubo solo tres clones que superaron los 86 cm de circunferencia; clones 14054 (86,00 cm), 14097 (87,75 cm) y 14092 (89,50 cm). Si bien hubo diferencias

significativas entre clones para esta variable, las mismas fueron muy inferiores a las debidas a la fuente de variación años.

En congruencia, el valor de Repetibilidad mostró la gran influencia de la variación ambiental, ya que solo el 3 % de las variaciones fenotípicas observadas se debe a las variaciones genéticas entre los clones.

Número de Manos a Floración

En esta variable, los clones 14062 y 14123 presentaron los menores valores, con 10,00 y 10,24 manos respectivamente. El valor medio fue de 11,26 manos por clon y los de mayor número de manos fueron el clon 14092 con 12,25 manos y el clon 14080 con 12,91 manos. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados). Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que el 14 % de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Peso del Raquis

La variable tiene una media de 3,02 kg, los valores mínimos les corresponden a los clones 14016 con 2,13 kg y al 14120 con 2,18 kg, mientras que un grupo de ocho clones 14129, 14017, 14113, 14097, 14043, 14034, 14075 y 14032 alcanzaron los valores máximos para esta variable, siendo el clon 14032, con 3,52 kg el de mayor peso para esta variable. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados). El 95% de las variaciones fenotípicas que observamos se deben a variaciones ambientales, ya que la repetibilidad fue de 0,05.

Peso Total

La variable tiene una media de 26,77 kg/año, los valores extremos de Peso Total fueron para el mínimo, los de los clones 14016 (21,85 kg/año) y 14012 (22,35 kg/año), mientras que en el otro extremo están los clones 14032, 14075, 14034, 14133 y 14097, que alcanzaron y superaron los 29 kg/año en promedio, siendo el clon 14097 el de máximo valor con 30,24 kg/año. Estos dos grupos de clones, difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados).

Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que solo el 6% de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Diámetro Dedo de la Segunda Mano

La variable Diámetro del Dedo de la Segunda Mano tiene una media de 38,74 mm, solo el clon 14016 con 31,38 mm tiene diferencias significativas con la media, mientras que los clones 14133 (40,78 mm) y 14129 (42,96 mm) son aquellos que alcanzaron los mayores valores. Sin embargo, éstos no fueron significativamente diferentes de la media del ensayo (datos no presentados). El 97% de las variaciones fenotípicas que observamos se deben a variaciones del ambiente.

Largo del Dedo de la Segunda Mano

La variable Largo del Dedo de la Segunda Mano tuvo una media de 23,66 cm, el clon 14134 con 20,46 cm, tuvo el menor valor y solo él difirió significativamente de la media. Los clones 14034, 14083, 14054, 14133 y 14075 fueron los que lograron las mayores medidas para esta variable, siendo los clones 14133 con 25,63 cm y 14075 con 26,00 cm, los más destacados. Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que el 19 % de estas diferencias en las variaciones fenotípos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Diámetro del Dedo de la Última Mano

Diámetro del Dedo de la Última Mano tiene una media de 36,32 mm. Los clones 14140, 14023 y 14012 alcanzaron los menores valores, siendo el clon 14140 con 30,61 mm el menor valor y presentando diferencias estadísticamente significativas con la media (datos no presentados). Los clones 14002, 14123 y 14129 alcanzaron los máximos valores de esta variable, siendo el clon 14129 con 40,43 mm el más destacado. El 91% de las variaciones fenotípicas que observamos se deben a variaciones del ambiente.

4. DISCUSIÓN

4.1 Índice de Selección

Los mejoradores, a menudo tienen dificultades para resumir y describir con precisión el éxito de un clon, debido a la gran cantidad de datos y a los muchos criterios de evaluación diferentes que se aplican. Los parámetros individuales resultan infructuosos, la decisión sobre el clon y/o variedad a seleccionar ya no puede tomarse basándose en un solo criterio, sino que es necesario aplicar un enfoque que incluya múltiples criterios lo cual provoca una mayor complejidad, por ello, es necesario utilizar métodos y modelos adecuados que sintetizen todos los datos recopilados (Rozman et al., 2015; Rozman et al., 2017; Nedeljković et al., 2021).

Al utilizar alguno de los modelos, se debe prestar especial atención a los expertos, ya que es necesario determinar el peso de los criterios principales y establecer el orden de los criterios según la importancia, dada por los expertos en cada tema (Nedeljković et al., 2022).

Al respecto, Del Medico et al. (2021) propusieron un enfoque multivariado para estimar la variabilidad genética en el conjunto de clones original en relación a la variación fenotípica expresada. Brevemente, dicho enfoque consistió en formar grupos por Análisis Cluster para determinar clones con fenotipos similares, y luego calcular la Heredabilidad entre grupos de clones. Las variables que mostraron H^2 en esta tesis fueron, Peso de Raquis (PR) y Peso Total (PT) y aportan al Índice de Selección.

El Índice de Selección propuesto en esta tesis proporciona un marco para la toma de decisiones en el cultivo de banana en las regiones sub tropicales.

Como se hizo en el Capítulo II, primero se hará una discusión por variable y luego se integrarán en las aplicaciones agronómicas que aporta este trabajo de Tesis.

4.2 Caracteres vegetativos

Altura de planta

La media de estos materiales seleccionados estuvo en 3,61 m, valor superior al que, como se mencionó en la Introducción fue el considerado, en principio, como más adecuado para el manejo y tolerancia al vuelco (3,30 m – 3,50 m). Además, todos los materiales fueron más altos que el testigo Gran Enano (3,30 m, de acuerdo al Capítulo II).

Si bien los clones más rendidores, como se discutirá en secciones posteriores, tuvieron una altura superior a la media del ensayo, los materiales que se ubicaron en los extremos

inferior y superior de altura (14120, 14135, 14123 y 14012, 14065, 14023, respectivamente) de este grupo seleccionado no mostraron rendimientos de interés agronómico. Como excepción, se destacó el clon 14133, que con 3,48 m de altura mostró buen rendimiento.

Circunferencia de Pseudotallo

Según lo mencionado en el capítulo anterior, esta variable está en relación directa con el tipo de clon y con el vigor de la planta, resultado de su estado de crecimiento. La media de circunferencia de pseudotallo de los 140 materiales evaluados en el capítulo II fue de 78,91 cm. La de los clones elegidos por el índice de selección fue de 82,47 cm, teniendo en los clones 14092 (89,50 cm), 14097 (87,75 cm) y 14054 (86,00 cm) los más destacados valores de esta variable.

Esta variable tiene un manejo totalmente diferente al trópico, cosechado el cacho, se mantiene la planta en pie hasta pasadas las heladas (las hojas protegen del frío), pasado el peligro de las mismas, el pseudotallo se corta lo más arriba posible (Figura 22), hasta donde llegue el productor con su machete, conservándolo como reserva de agua y nutrientes, son los recursos que dispone el nuevo brote para su desarrollo y rápido crecimiento.

Estas reservas del pseudotallo también permiten afrontar la dispersión enorme de las precipitaciones del subtrópico, dando estabilidad en la producción al agricultor.



Figura 22: Manejo del pseudotallo en la región subtropical de Formosa.

Teniendo que, en la temporada invernal, el crecimiento vegetativo y/o la parte aérea de las plantas de banana se muere por las heladas, un mayor grosor del pseudotallo con sus reservas hídricas y amiláceas acumuladas, permitiría disponer de manera inmediata de estos recursos en el nuevo ciclo de producción, a la salida del invierno, además es cierto que generan más enfermedades e insectos, pero en el balance del cultivo, las reservas y el agua superan a la posibilidad de tener plagas.

Número de Manos a Floración

En el número de manos de los clones seleccionados a través del Índice de Selección, el valor mínimo superó ampliamente a la población base, siendo el clon 14062 el valor más bajo con 10 manos.

En un cultivo donde no se pueden generar variabilidad a través de cruzamientos, no aparecen genotipos superiores, por lo tanto, la media de la población seleccionada aumenta con la eliminación de los valores extremos inferiores de la variable. En concordancia con el capítulo II, los clones de mayor rendimiento tuvieron más de 11 manos en floración.

b. Caracteres productivos

Peso de Raquis

Respecto al desarrollo del raquis, su peso varía muy poco entre los 140 clones evaluados con un peso medio de 2,96 kg y el de las 30 líneas seleccionadas con 3,02 kg no encontramos cambios en esta variable, siempre considerando que, en las condiciones locales, se dejan 8 manos a cosecha en cada cacho.

Según Vargas (1983) mencionado por Soto Ballester (2008), el largo del raquis guarda relación con el peso del mismo, siempre considerando igual número de manos a cosecha. Tal característica es muy importante porque menores distancias entre manos, producen golpes durante la cosecha y el transporte de la fruta a la planta de empaque, disminuyendo su valor comercial. La distancia entre las manos dentro del raquis se debe considerar en la selección de nuevos materiales.

Peso Total

La media de los materiales seleccionados 26,77 kg/año supera al mejor testigo, Test 4 (Gran Enano) de 24,86 kg/año y supera la media de la población de selección, este aumento genera buenas expectativas para seguir seleccionando entre los productores, porque hay clones como 14032, 14075, 14034, 14133 y 14097 que alcanzaron y superaron los 29 kg/año, siendo el clon 14097 el de máximo valor con 30,24 kg/año, en cuatro ciclos de evaluación.

Diámetro del Dedo de la Segunda Mano y Largo del Dedo de la Segunda Mano

La variable Diámetro del Dedo de la Segunda Mano tiene una media de 38,74 mm, los clones 14133 (40,78 mm) y 14129 (42,96 mm) son aquellos que alcanzaron los mayores valores.

Es necesario destacar que estos valores superiores a 41,00 mm de diámetro, deben manejarse con sumo cuidado, dado que al estar tan llena la fruta se raja la cáscara de manera longitudinal, está muy influenciado por el manejo (fertilización equilibrada y control de Sigatoka) y en nuestras condiciones ambientales las precipitaciones abundantes después de un estrés, que nos ha sucedido en el ensayo en tres ciclos de producción.

Un valor de 40,00 mm en diámetro, es el adecuado entre el compromiso de lograr un sabor superior a la fruta de importación y evitar los daños por rajadura. Es posible llegar los 43 mm, pero con productores líderes, que manejen de manera muy fina la tecnología y los tiempos del cultivo.

La variable Largo del Dedo de la Segunda Mano tuvo una media de 23,66 cm, los mejores valores para esta variable son los clones 14133 con 25,63 cm y 14075 con 26,00 cm. Comparando los valores de los testigos de esta variable, estudiados en el capítulo anterior, cuya media fue de 22,85 cm y el mejor testigo alcanzó los 23,18 cm, se muestra que los materiales locales tienen valores superiores al de los testigos, en la principal variable de comercialización.

La combinación de estas dos variables, fruta de 24,00 cm de longitud y un diámetro de 40,00 mm que tiene estos clones, permiten llegar a mercado con una fruta que puede competir en el mercado.

Diámetro del Dedo de la Última Mano

Ensayos en Costa Rica, determinaron que la diferencia de diámetro entre la primera y última mano llega hasta 3,8 mm para cachos con 10 manos en el cultivar “Gran Enano” Lassoudiere (1978), mencionado por Soto Ballesteros (2008). El diámetro de las manos inferiores es el más pequeño, es lógico utilizar la última mano para medir el diámetro y determinar el corte de acuerdo a los requerimientos del mercado.

A diferencia del trópico donde se dejan seis manos (que permite un llenado uniforme de la fruta) para la exportación y las temperaturas se mantienen adecuadas para el llenado de la fruta, en las condiciones locales, se dejan ocho y/o hasta diez manos. A medidas que entra el invierno, el llenado de la fruta se torna des uniforme en cuanto a calibre debido a las bajas temperaturas que no permiten un llenado completo de la fruta.

Cuando la última mano alcanza 40 mm de diámetro, las primeras manos están pasadas y se parte la cáscara. En la producción local se usa el diámetro de la segunda mano como referencia para el corte.

Es importante destacar que el número de ocho manos a cosecha se determinó en la producción local, como un compromiso entre rendimiento y calidad comercial, es el número

necesario para completar un cajón a cosecha, manteniendo una relación de 1:1 y optimizando los tiempos operativos y la rentabilidad.

Este estudio demostró la presencia considerable de distancia entre los clones locales de banano y los cultivares introducidos, además, los clones locales fueron de alto rendimiento para la mayoría de los rasgos en comparación con los genotipos introducidos.

En concordancia con Gubbut y colaboradores (2020), para cada región ecológica y para cada época climática debe hacerse con regularidad una evaluación del desarrollo y crecimiento de las plantas. Para la región de Formosa, esta Tesis constituye un aporte fundamental a esta necesidad de lograr investigación y desarrollo que responda a las adaptaciones a un nuevo entorno.

Como aplicación agronómica de los resultados relevados y analizados en este capítulo, se puede inferir un fenotipo para nuestra región, con una altura entre 3,50 m y 3,80 m; circunferencia de pseudotallo superior a los 80 cm; con 11 manos a floración; llegar a cosecha con 4 a 5 hojas; longitud de los dedos superior a 24 cm, diámetro de los dedos de 40 mm y grosor de cáscara que supere los 4,00 mm.

Sin embargo, existe marcada variabilidad ambiental en la provincia de Formosa, tanto dentro de una misma zona geográfica entre años, como lo demuestran los bajos valores de repetibilidad), como entre zonas que se encuentran a escasa distancia, debido tipo de suelo, manejo de productor, como fue mencionado en la Introducción y en el Capítulo II.

Tomando en cuenta que la repetibilidad es baja, en este caso favorable para los objetivos, nos indica uniformidad en los clones selectos a través de los diferentes ciclos de evaluación, debido a que no hubo grandes diferencias significativas entre los clones, lo que nos da variabilidad molecular pero no varía la expresión del fenotipo, al menos en los materiales determinados por el Índice de Selección, lo cual, junto al cambio en el rango de valores mínimos y la reducción del desvío (tabla 27), es una buena referencia de que, cuando los clones se multipliquen para conformar la variedad, es posible obtener una ganancia genética significativa en valores de interés agronómico.

Es esperable que se generen grupos de genotipos con fenotipos estables, pero con variabilidad genética que permita responder a las variaciones en el ambiente, otorgando resiliencia.

Por estos motivos, ese fenotipo debe ser expresado por genotipos diferentes, de forma tal que la variedad a lograr tenga homeostasis genética. En consecuencia, se deben conformar variedades equivalentes a las multilíneas de las especies de reproducción sexual.

Los agricultores necesitan de un programa de manejo sustentable que garantice el éxito de la producción, pero reduzca al mínimo posible los impactos negativos en el ambiente

y el riesgo de pérdidas productivas de las mismas en la alta variabilidad que se presenta en Formosa y en el subtrópico en general (Bonnin et al., 2020).

Como resultado de esta propuesta, se obtuvieron 3 grupos fenotípicos que se distinguen con las siguientes características:

Grupo 1.

Se caracterizó por tener genotipos correspondientes a plantas con mayor altura, circunferencia de pseudotallo, peso de raquis, peso de las manos, pero menor grosor de cáscara. Este grupo de clones estaría destinado al mercado local por su menor grosor de cáscara, que lo hace difícil de empacar y transportar sin causar daños en la apreciación comercial.

Grupo 2.

Se caracterizó por tener genotipos correspondientes a plantas con menor altura, circunferencia de pseudotallo, peso de raquis, peso de la mano y grosor de cáscara promedio. Destinado a mercado local y/o regional, provincias de Corriente y Chaco con más de un millón de habitantes.

Grupo 3.

Se caracterizó por tener genotipos correspondientes a plantas con altura, circunferencia de pseudotallo, peso de raquis y peso de las manos promedio, pero mayor grosor de cáscara. Este material es el más adecuado para llegar a los mercados nacionales, Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Mendoza.

Se realizará una selección futura de clones dentro de estos 30 seleccionados por el índice de Selección, para conformar la multilíneas, conformadas por tres o cuatro clones en cada grupo. Este número de 9 o 12 líneas está relacionado con el tamaño y la complejidad de las evaluaciones en los Ensayos Comparativos de Rendimiento, debido al tamaño de las parcelas y los costos de mantener ensayos durante varios años.

En concordancia con Wassu et al., 2014, esto indica la necesidad de recopilar, evaluar y caracterizar gran número de clones locales para mejorar el rendimiento y otros rasgos deseables del banano. La información generada mostró que recolección de clones locales tantos como sea posible; evaluación junto con variedades mejoradas introducidas y selección de los clones de mejor rendimiento son el método de evaluación apropiado.

5. CONCLUSIONES

En base a un índice de selección multivariado construido a partir de una Análisis de Componentes Principales, luego de dos años de evaluación, se seleccionaron 30 clones superiores de la población derivada de materiales recolectados en campos de productores, luego de dos años de evaluación.

A lo largo de 4 años de evaluación, los clones seleccionados demostraron tener valores para variables de interés agronómico superiores en relación a lo requerido por los sistemas de producción de banana de la provincia de Formosa, evidenciando la robustez de las evaluaciones bianuales.

Si bien, la repetibilidad fue baja en general, es posible conformar cultivaress con variabilidad genética similares a las multilíneas de especies de reproducción sexual, de forma tal de que, a partir de la homeostasis genética se tienda a conservar el fenotipo más adecuado para la producción de banana en la provincia de Formosa.

De esta manera, se logra responder a la demanda de nuevas variedades que una vez instaladas en los campos muestren durante un período de entre 10 y 15 años estabilidad productiva y resiliencia (o capacidad de adaptación) a los posibles escenarios planteados por el cambio climático.

CAPÍTULO IV

“CONFORMACIÓN DE UN BANCO DE GERMOPLASMA DE BANANA”.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas son esenciales para la vida, sin embargo, se estima que el 20% de la diversidad vegetal está amenazada de extinción. Se presume que el 75% de la superficie terrestre del planeta está experimentando presiones humanas, incluso en áreas silvestres, las poblaciones de plantas son vulnerables a especies invasoras, plagas, enfermedades y un clima cambiante (Mounce et al., 2007).

La pérdida de biodiversidad causada por la tala de vegetación, la destrucción del hábitat, la industrialización, la contaminación química, la introducción de especies exóticas, variedades de alto rendimiento y las calamidades naturales han resultado en la erosión genética y la extinción de muchas especies (Wang et al., 2007; Gueco et al., 2022).

Un banco de germoplasma es una colección de material vegetal vivo que tiene como objeto conservar la variabilidad genética existente en una o varias especies de interés. Para las plantas con distribuciones naturales en ambientes transformados, la conservación ex situ puede ser la única manera de sobrevivir a corto, mediano e incluso largo plazo.

Es inevitable reconocer que la prospección, recolección, caracterización, evaluación, conservación y documentación de los recursos fitogenéticos para la agricultura son esenciales para alcanzar un desarrollo agrícola sostenible (Madariaga y Catalán, 2020; Costa Tártara et al., 2020; Lamas et al., 2021; Brunetti et al., 2022). El reconocimiento de la diversidad genética en un territorio es el punto de partida para la implementación de programas de conservación de los recursos fitogenéticos, además, sirve como una herramienta de preservación y desarrollo de especies vegetales de interés para la alimentación mundial.

El modo particular de propagación del banano, hace que este cultivo sea muy vulnerable a la perturbación, al mismo tiempo, la aparición de nuevos genotipos está ligado a eventos de mutaciones ocasionales, su ciclo de vida es prolongado y en mayor medida, la retención de cultivares sin semillas por parte de los mejoradores en relación con la preferencia de los consumidores (Sardos et al., 2016), hace a este cultivo más propenso a la erosión genética.

La tendencia actual de los sistemas productivos, para esta y otras especies, se encuentra determinada por el cultivo intensivo de unas pocas cultivares comerciales de alto rendimiento, con uso intensivo de agroquímicos y con poca o ninguna rotación de cultivos. Esto trae como consecuencia la pérdida de diversidad. La uniformidad genética ha provocado acontecimientos catastróficos en el pasado bananero como la aparición de marchitez por

fusarium, causada por un hongo patógeno que produjo la devastación del cultivar susceptible Gros Michel y fue reemplazada por cultivares del sub grupo “Cavendish” en la década de 1950 (Promusa, 2021).

Todo esto incrementa la urgencia de realizar esfuerzos en recolección y conservación (Madariaga y Catalán, 2020; Hapsari et al., 2022). Se necesita trabajar para salvaguardar la adaptabilidad y resistencia al estrés biótico y abiótico, y pueda estar disponibles como fuente de material genético en los programas de mejoramiento de bananos.

El valor de las colecciones de recursos fitogenéticos reside en la utilización que de ellas se haga para producir nuevos cultivares, domesticar nuevas especies y desarrollar nuevos productos. Las colecciones deben proveer a los mejoradores de variantes genéticas, genes o genotipos, que les permitan responder a los nuevos desafíos planteados por los sistemas productivos, condiciones ambientales y/o requerimientos de mercados (Ocampo-Giraldo et al., 2019).

Es necesario remarcar fuertemente que, en Formosa, no se han expandido aún las variedades comerciales, manteniéndose toda la biodiversidad en los campos de los agricultores familiares (Figura 23). En este contexto, la evaluación de la actual de la diversidad existente en el banano, conservarla y hacerla disponible para su uso posterior es una prioridad.



Figura 23. Variabilidad del cultivo en los campos de agricultores Familiares de la provincia de Formosa.

El papel de los bancos de germoplasma para reducir esta pérdida y poder conservar muchas especies silvestres, cultivares locales tradicionales, así como variedades mejoradas, es fundamental.

En general en los dos capítulos previos 2 y 3, se presentaron evaluaciones sobre la estructura poblacional de distintos grupos de genotipos a partir de la media y la variancia. Sin embargo, a fines de conocer la biodiversidad general presente es necesario también evaluar la estructura genética en el nivel de las covariancias, a través del cálculo de las correlaciones, al menos fenotípicas. Dado que la banana es una especie de reproducción asexual, es esperable que se conserve esta estructura de covariancia debido a la falta de recombinación génica por meiosis.

Una vez realizada la selección con fines distintos (por un lado, los mejores clones y por otro aquellos que representen la diversidad) a partir de un mismo acervo genético es necesario comparar las estructuras de la diversidad genética recolectada por cada grupo de materiales (la población general, los 30 clones seleccionadas para los futuros cultivares y los 40 clones seleccionados para el banco de germoplasma), a través del cálculo de las correlaciones entre los caracteres evaluados en varios ciclos de cultivo.

En este capítulo, se propone como objetivo específico evaluar rigurosamente clones seleccionados mediante un índice construido con base en Análisis Factorial Múltiple Mixto (AFMM). Este análisis tiene como finalidad responder, con un número adecuado de clones, a la formación de un Banco de Germoplasma del cultivo de banana.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Construcción del índice de Selección

De manera opuesta a seleccionar los mejores fenotipos para la producción, el objetivo en este punto es fijar criterios para seleccionar clones de manera de conservar variabilidad para caracteres cuantitativos y cualitativos. Durante los ciclos 2016 - 2017, 2017 - 2018, 2018 - 2019 y 2019 - 2020 se evaluaron 140 clones de banana, mediante 9 caracteres fenotípicos cuantitativos y tres cualitativos (foliosidad, tamaño de racimo y prolificidad), relacionados con la aptitud agronómica. En este caso, la construcción del índice de selección (IS) fue informada por Del Medico et al. (2021). Brevemente, se llevó adelante un Análisis Factorial Múltiple Mixto (AFMM), que permite trabajar simultáneamente ambos grupos de variables de distinta naturaleza, sobre el mismo conjunto de individuos. El beneficio del AFMM, sobre otras metodologías existentes, es que se asigna igual importancia a ambos grupos de variables. Para la construcción algebraica de este IS, se siguieron los mismos criterios que para la del IS de variedades.

En este análisis, los atributos cuantitativos que más contribuyeron a la formación del primer factor fueron Peso de las Manos (PM), Peso del Raquis (PR), Circunferencia del Pseudotallo (CP) y Altura de la Planta (AP). Como variables ordinales los caracteres que más aportaron a dicho factor fueron Número de Manos (NM) y de Número de Dedos (ND). En cambio, en el segundo eje no se observaron contribuciones considerables de las variables cuantitativas, sin embargo, si lo hizo el carácter cualitativo foliosidad.

2.2 Selección de los clones que conforman el Banco de Germoplasma

En este trabajo de Tesis se muestran los resultados de aplicar este IS. Para ello, se ordenaron los clones de banana de acuerdo a dicho índice dentro de cada uno de los dos grupos ya determinados y se seleccionó un número de individuos con índices ubicados en cada tercio, en proporción al tamaño de cada grupo.

2.3 Evaluación de los 40 clones seleccionados

Los 40 clones seleccionados se caracterizaron con las metodologías descriptas en el Capítulo II durante 4 campañas (2016 – 2017, 2017 – 2018, 2018 – 2019 y 2019 -2020).

Se aplicó un ANOVA a dos criterios de clasificación: años y clones. Dado que no se contaba con repeticiones por clon, motivo por el cual se usó el diseño aumentado descripto previamente, no se pudo desglosar la interacción clon x año. De este ANOVA, en los casos en que se detectaron diferencias significativas entre clones, se calculó la repetibilidad para las variables que formaron parte del índice de selección en este conjunto de 40 clones.

2.4 Estimación de la estructura de covariancias en las poblaciones estudiadas, conjunto de los clones recolectados y los testigos, el grupo seleccionado para cultivares y los elegidos para el banco de germoplasma.

Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre todos los pares de caracteres cuantitativos analizados. Estas correlaciones se calcularon a partir de los valores medios de cada individuo a lo largo de cuatro campañas de evaluación. Dado que esta evaluación es individual, este valor medio representa el valor genotípico de cada clon, para cada variable y, los coeficientes pueden considerarse una estimación de la correlación genética.

Luego se destacaron las correlaciones estadísticamente significativas y de mayor valor absoluto (se tomó un valor mínimo de 0,40 en forma absoluta) en cada población y se verificó por observación directa el grado de concordancia entre ellas. Una alta concordancia es indicador de una estructura de covariancia similar, en tanto que, concordancias bajas indican discrepancias en la estructura genética de las poblaciones que se están comparando.

3. RESULTADOS

3.1 Construcción del índice de Selección

En función del AFMM descrito por Del Medico et al. (2020), se formaron dos grupos de clones, uno de alta y otro de baja foliosidad, y la selección de individuos para conformar el banco de germoplasma se hizo dentro de cada grupo, a fin de conservar variabilidad para caracteres cualitativos y cuantitativos, que aportan significativamente a la variabilidad general. La correlación entre ambos grupos de variables se midió con el coeficiente RV. El mismo resultó igual a 0.31, valor que indica poca asociación entre los conjuntos de variables evaluados.

A partir de los criterios desarrollados en el Capítulo 3 para la construcción de un IS para conformar una variedad, el IS en este caso resultó:

$$\text{Índice de Selección} = 1.64 * (0.62 * \text{altura} + 0.77 * \text{circunferencia} + 0.82 * \text{peso del raquis} + 0.83 * \text{peso total})$$

De esta manera, la técnica de AFMM no solo logró caracterizar al conjunto de clones de banana por los caracteres cuantitativos y cualitativos, sino que también permitió identificar los clones para determinar un subconjunto que presente la mayor diversidad teniendo en cuenta ambos tipos de caracteres.

3.2 Selección de los clones que conforman el Banco de Germoplasma

Se procedió a la selección en cada uno de los grupos (clones de alta foliosidad y clones de baja foliosidad) que fue proporcional a su tamaño. Para conservar la variabilidad genética existente se seleccionó, dentro de cada grupo, clones con IS alto (valores ubicados en el tercio superior), moderado (valores ubicados en el tercio medio) y bajo (valores ubicados en el tercio inferior). Los 40 clones seleccionados se muestran en la Tabla 28

Foliosidad Alta		
Clones		IS
1	14031	-6.22
2	14024	-5.84
3	14001	-3.95
4	14019	-3.69
5	14102	-3.42
6	14118	-2.04
7	14056	-1.11
8	14095	-0.41
9	14010	-0.10
10	14058	0.73
11	14076	0.76
12	14045	1.13
13	14107	1.42
14	14048	1.58
15	14117	2.02
16	14114	2.24
17	14130	2.41
18	14121	3.11
19	14101	3.78
20	14016	3.92
21	14034	4.36
22	14113	4.82
23	14023	5.55
24	14129	6.74
25	14092	8.01

Foliosidad Baja		
Clones		IS
26	5.5	-16.13
27	14020	-7.16
28	14070	-5.18
29	14111	-4.83
30	14108	-4.31
31	5.4	-2.51
32	14064	-1.82
33	14060	-1.17
34	14079	0.06
35	14029	0.81
36	5.8	1.16
37	14115	1.85
38	14089	2.63
39	14018	3.86
40	14051	5.77

Tabla 28: Los 40 clones elegidos por el Índice de Selección para formar parte del Banco de Germoplasma de Banana del INTA.

3.3 Evaluación de los 40 clones seleccionados

Para todas las variables evaluadas durante 4 campañas, se encontraron diferencias significativas entre años. Solo para algunos caracteres se detectaron diferencias significativas entre clones, y en estos casos, la variación entre clones fue siempre menor a la variación entre años. En la Tabla 29 se muestran los resultados obtenidos para las variables que forman parte del índice de selección.

Tabla 29. Valores medios a través de 4 años de evaluación y 40 clones seleccionados (Media), errores estándares correspondientes (E.E), valor máximo, valor mínimo y repetibilidad (Repet) para las variables que formaron el índice de selección.

Variables	Media	E.E.	Valor Mínimo	Valor Máximo	Repet
Altura de Planta (m)	3,33	0,42	3,01	3,85	0,39
Circunferencia de Pseudotallo (cm)	71,16	9,94	67,01	89,50	0,23
Peso del Ráquis (kg)	2,73	0,75	1,49	3,62	0,18
Peso Total (kg)	23,30	5,27	18,03	30,70	0,28

A continuación, se hará una breve Interpretación de los resultados para cada variable:

Altura de planta

Esta variable tuvo una media de 3,30 m. Se destacan los cuatros testigos y un grupo de 5 clones 56, 14095, 14031, 14079, y 14001 que tuvieron un valor por debajo de la media del ensayo, siendo el clon 56 el que tiene la menor altura 3,01 m y un grupo de 3 clones 14023, 14064 y 14101 cuya media superan los 3,80 m de altura. De éstos, el clon 14101 fue el de mayor altura con 3,88 m. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados). Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que el 39% de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Circunferencia de Pseudotallo

La variable tuvo una media de 77,16 cm. Dos clones 14101 y 56 no superaron los 70 cm, el clon 14101 manifestó la menor medida con 67,01 cm de circunferencia, tres testigos Williams, Jaffa y Gal no superaron la media. Hubo solo un clon que superó los 86 cm de circunferencia, el clon 14092 con 89,50 cm. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados). Por los valores de Repetibilidad

observados, es esperable que el 23% de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

Peso del Raquis

La variable tiene una media de 2,73 kg, los valores mínimos les corresponden a los clones 56 con 1,49 kg, único valor que difiere significativamente de la media y al clon 14070 con 1,89 kg, mientras que un grupo de tres clones 14034, 14129 y 14117 alcanzó los valores máximos, siendo el clon 14117, con 3,62 kg el de mayor peso para esta variable. Estos dos grupos difieren significativamente entre sí, a excepción del clon 56, pero no con la media del ensayo (datos no presentados). El 82% de las variaciones fenotípicas que observamos se deben a variaciones ambientales, ya que la repetibilidad fue de 18%.

Peso Total

La variable tiene una media de 23,30 kg/año, los valores extremos de Peso Total fueron para el mínimo, los de los clones 56 (18,03 kg/año) y 14118 (19,49 kg/año), mientras que en el otro extremo están los clones 14076 y 14129, que alcanzaron y superaron los 30 kg/año en promedio, siendo el clon 14129 el de máximo valor con 30,70 kg/año. Estos dos grupos de clones, difieren significativamente entre sí, pero no con la media del ensayo (datos no presentados).

Por los valores de Repetibilidad observados, es esperable que solo el 28 % de estas diferencias observadas en los fenotipos se deban a variaciones genéticas entre los clones.

3.4 Estimación de la estructura de covariancias en las poblaciones estudiadas, conjunto de los clones recolectados y los testigos, el grupo seleccionado para variedades y los elegidos para el banco de germoplasma.

En las Tablas 30, 31 y 32 se presentan las correlaciones entre todas variables para las tres poblaciones, respectivamente: la población original, los 30 clones seleccionados para la variedad argentina y los 40 clones seleccionados para el banco de germoplasma (mencionarlas) evaluadas en esta tesis.

	AP	CP	HF	NMF	FB	FC	HC	PR	PT	PM14	PM59	DD2M	LD2M	DDUM	LDUM	GC
Ap	1,00	0,00	2,6 ⁻⁰⁷	0,00	1,2 ⁻⁰⁶	4,5 ⁻⁰⁵	4,0 ⁻⁰³	4,6 ⁻¹⁰	0,00	0,00	0,00	0,55	1,1 ⁻⁰⁸	0,50	0,00	0,63
CP	0,57	1,00	9,9 ⁻¹⁰	0,00	2,1 ⁻¹¹	1,4 ⁻⁰⁵	0,32	2,5 ⁻¹²	0,00	0,00	0,00	0,03	1,0 ⁻⁰⁷	3,0 ⁻⁰³	1,1 ⁻¹²	0,40
HF	0,18	0,21	1,00	4,4 ⁻⁰⁵	0,82	0,89	0,01	4,3 ⁻¹¹	2,7 ⁻¹²	1,1 ⁻⁰⁴	0,00	0,66	3,5 ⁻⁰³	0,01	0,96	0,45
NMF	0,45	0,53	0,14	1,00	1,9 ⁻⁰⁴	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,7 ⁻⁰⁶	0,66	3,4 ⁻⁰⁹	0,13
FB	-0,17	-0,23	0,01	-0,13	1,00	5,2 ⁻⁰⁶	0,08	6,1 ⁻⁰⁴	0,10	0,02	0,51	0,78	0,89	4,9 ⁻⁰³	0,14	0,04
FC	-0,14	-0,15	4,8 ⁻⁰³	-0,07	0,16	1,00	0,14	7,1 ⁻⁰⁸	3,2 ⁻⁰⁶	0,04	1,2 ⁻¹⁰	0,46	0,65	0,62	2,9 ⁻⁰³	0,80
HC	-0,11	-0,04	0,10	-0,06	0,07	0,06	1,00	2,0 ⁻⁰⁵	0,00	1,8 ⁻¹⁰	1,0 ⁻¹⁰	5,8 ⁻⁰⁵	1,7 ⁻⁰⁴	3,8 ⁻¹¹	3,4 ⁻⁰⁵	0,59
PR	0,22	0,25	0,24	0,37	0,12	0,19	0,16	1,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,89	0,00	0,83
PT	0,34	0,37	0,25	0,43	-0,06	0,17	0,27	0,71	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
PM14	0,34	0,40	0,14	0,39	-0,08	0,08	0,24	0,58	0,91	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97
PM59	0,27	0,27	0,32	0,39	-0,02	0,23	0,24	0,71	0,89	0,62	1,00	1,5 ⁻⁰⁵	0,00	0,02	1,3 ⁻¹⁰	0,59
DD2M	0,02	0,08	-0,02	0,02	-0,01	0,03	0,15	0,08	0,31	0,39	0,16	1,00	5,2 ^{E-09}	0,00	2,9 ⁻¹²	0,44
LD2M	0,21	0,19	0,11	0,17	4,9 ⁻⁰³	0,02	0,14	0,48	0,57	0,60	0,42	0,21	1,00	0,00	0,00	0,72
DDUM	0,02	0,11	-0,09	-0,02	-0,10	-0,02	0,25	4,9 ⁻⁰³	0,31	0,47	0,08	0,49	0,26	1,00	0,00	0,13
LDUM	0,28	0,26	1,9 ⁻⁰³	0,21	-0,05	-0,11	0,16	0,27	0,45	0,56	0,23	0,25	0,61	0,28	1,00	0,72
GC	-0,02	-0,03	0,03	-0,06	0,07	0,01	0,02	-0,01	-0,01	1,5 ⁻⁰³	-0,02	0,03	0,01	0,06	0,01	1,00

Tabla 30: Estructura de covariancias entre caracteres en el conjunto total de 154 clones evaluados. En la diagonal principal se presentan las correlaciones entre cada variable y ella misma. Por encima de la diagonal principal se presentan los valores p de cada coeficiente de correlación entre pares de variable. Por debajo de la diagonal principal se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre pares de variables.

	AP	CP	HF	NMF	FB	FC	HC	PR	PT	PM14	PM59	DD2M	LD2M	DDUM	LDUM	GC
AP	1,00	7,3 ⁻⁰⁵	0,07	9,3 ⁻⁰⁶	3,3 ⁻⁰³	0,04	0,19	0,09	0,05	0,02	0,24	0,91	0,10	0,68	3,2 ⁻⁰³	0,37
CP	0,35	1,00	0,65	0,04	0,06	0,78	0,90	0,62	0,18	0,05	0,64	0,27	0,97	0,06	0,39	0,26
HF	0,16	0,04	1,00	0,76	0,10	0,62	0,09	0,01	0,06	0,71	2,9 ⁻⁰⁴	0,60	0,57	0,01	0,20	0,50
NMF	0,38	0,19	0,03	1,00	0,03	0,84	0,54	0,01	1,1 ⁻⁰³	4,3 ⁻⁰³	4,7 ⁻⁰³	0,58	0,18	0,85	0,09	0,93
FB	-0,26	-0,17	0,15	-0,19	1,00	0,03	0,03	7,9 ⁻⁰⁵	0,01	0,31	1,1 ⁻⁰³	0,04	0,05	0,82	0,38	0,06
FC	-0,19	-0,03	0,05	-0,02	0,20	1,00	0,33	4,7 ⁻⁰⁴	2,2 ⁻⁰⁴	1,8 ⁻⁰³	1,0 ⁻⁰³	0,09	0,21	0,30	0,66	0,77
HC	-0,12	0,01	0,16	-0,06	0,21	0,09	1,00	7,3 ⁻⁰⁶	3,1 ⁻⁰⁵	0,01	8,1 ⁻⁰⁶	6,7 ⁻⁰⁴	1,5 ⁻⁰⁴	3,4 ⁻⁰³	3,0 ⁻⁰³	0,34
PR	0,16	0,05	0,25	0,24	0,36	0,32	0,41	1,00	0,00	8,2 ⁻¹⁰	0,00	0,01	2,7 ⁻¹¹	0,46	1,0 ⁻⁰³	0,18
PT	0,18	0,12	0,18	0,30	0,23	0,34	0,38	0,75	1,00	0,00	0,00	2,8 ⁻⁰⁵	0,00	7,5 ⁻⁰⁶	4,0 ⁻⁰⁸	0,10
PM14	0,21	0,18	-0,04	0,26	0,09	0,29	0,26	0,53	0,86	1,00	9,4 ⁻¹⁰	2,3 ⁻⁰⁷	0,00	1,4 ⁻¹¹	3,0 ⁻¹²	0,03
PM59	0,11	0,04	0,33	0,26	0,30	0,30	0,41	0,76	0,89	0,53	1,00	0,02	1,8 ⁻⁰⁹	0,11	3,4 ⁻⁰³	0,48
DD2M	0,01	0,10	-0,05	0,05	0,19	0,16	0,32	0,25	0,38	0,46	0,22	1,00	2,8 ⁻⁰³	1,3 ⁻⁰⁹	4,6 ⁻⁰⁴	0,27
LD2M	0,15	-3,9 ⁻⁰³	0,05	0,13	0,18	0,12	0,35	0,57	0,66	0,64	0,52	0,28	1,00	8,1 ⁻⁰⁷	0,00	0,07
DDUM	-0,04	0,17	-0,23	0,02	-0,02	0,10	0,27	0,07	0,40	0,58	0,15	0,53	0,44	1,00	1,6 ⁻⁰⁸	0,06
LDUM	0,27	0,08	-0,12	0,16	0,08	-0,04	0,28	0,30	0,48	0,59	0,27	0,32	0,67	0,50	1,00	0,02
GC	0,08	0,11	0,06	-0,01	0,17	-0,03	0,09	0,13	0,15	0,21	0,07	0,10	0,17	0,18	0,22	1,00

Tabla 31: Estructura de covariancias entre caracteres en el sub conjunto de 30 clones seleccionados por su mejor aptitud agronómica, para derivar la primera variedad Argentina de Banana. En la diagonal principal se presentan las correlaciones entre cada variable y ella misma. Por encima de la diagonal principal se presentan los valores p de cada coeficiente de correlación entre pares de variable. Por debajo de la diagonal principal se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre pares de variables

	AP	CP	HF	NMF	FB	FC	HC	PR	PT	PM14	PM59	DD2M	LD2M	DDUM	LDUM	GC
AP	1,00	0,00	1,7 ⁻⁰⁵	0,00	1,2 ⁻⁰³	2,5 ⁻⁰³	0,06	2,7 ⁻⁰⁹	0,00	0,00	1,9 ⁻⁰⁹	0,91	1,1 ⁻⁰⁶	0,05	5,5 ⁻¹⁰	0,45
CP	0,58	1,00	5,5 ⁻⁰⁹	0,00	1,0 ⁻⁰⁴	2,3 ⁻⁰⁴	0,66	5,4 ⁻¹²	0,00	0,00	1,0 ⁻⁰⁹	0,23	9,9 ⁻⁰⁷	6,1 ⁻⁰⁴	1,7 ⁻⁰⁹	0,10
HF	0,22	0,29	1,00	5,6 ⁻⁰⁵	0,42	0,56	0,02	1,4 ⁻⁰⁷	2,4 ⁻¹⁰	2,0 ⁻⁰⁵	0,00	0,90	1,3 ⁻⁰³	0,85	0,34	0,81
NMF	0,44	0,59	0,20	1,00	0,01	0,12	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	1,5 ⁻⁰⁶	0,14	4,9 ⁻⁰⁸	0,07
FB	-0,16	-0,20	-0,04	-0,14	1,00	2,0 ⁻⁰⁴	0,98	0,01	0,14	0,06	0,44	0,83	0,77	9,0 ⁻⁰⁴	0,21	4,1 ⁻⁰³
FC	-0,16	-0,19	0,03	-0,08	0,19	1,00	0,51	1,7 ⁻⁰⁵	1,6 ⁻⁰³	0,32	1,2 ⁻⁰⁶	0,97	0,92	0,52	0,05	0,15
HC	-0,10	-0,02	0,13	-0,03	1,5 ⁻⁰³	0,04	1,00	0,05	1,2 ⁻⁰⁷	4,4 ⁻⁰⁶	5,8 ⁻⁰⁷	3,1 ⁻⁰³	0,12	1,2 ⁻¹²	0,09	0,21
PR	0,31	0,35	0,27	0,45	0,14	0,22	0,11	1,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,85	8,0 ⁻⁰⁸	0,05
PT	0,39	0,43	0,33	0,47	-0,08	0,17	0,29	0,75	1,00	0,00	0,00	1,9 ⁻⁰⁵	0,00	0,00	0,00	0,24
PM14	0,40	0,47	0,22	0,42	-0,10	0,05	0,25	0,62	0,91	1,00	0,00	7,7 ⁻⁰⁹	0,00	0,00	0,00	0,05
PM59	0,31	0,32	0,37	0,42	-0,04	0,25	0,28	0,73	0,90	0,64	1,00	0,06	0,00	3,3 ⁻⁰³	1,6 ⁻⁰⁶	0,89
DD2M	0,01	0,06	0,01	0,05	0,01	-2,2 ⁻⁰³	0,17	0,05	0,22	0,30	0,10	1,00	0,04	0,00	2,7 ⁻⁰⁴	0,26
LD2M	0,25	0,26	0,17	0,25	-0,02	0,01	0,09	0,44	0,53	0,56	0,38	0,11	1,00	7,5 ⁻⁰⁷	0,00	1,0 ⁻⁰³
DDUM	0,10	0,18	0,01	0,08	-0,17	-0,03	0,38	-0,01	0,39	0,53	0,16	0,50	0,26	1,00	0,00	0,02
LDUM	0,32	0,31	0,05	0,28	-0,07	-0,10	0,09	0,28	0,48	0,61	0,25	0,19	0,63	0,47	1,00	0,07
GC	-0,04	-0,09	-0,01	-0,10	0,15	0,08	0,07	0,10	0,06	0,10	0,01	0,06	0,17	0,13	0,10	1,00

Tabla 32: Estructura de covariancias entre caracteres en el sub conjunto de 40 clones y los testigos que conforman el Banco de Germoplasma. En la diagonal principal se presentan las correlaciones entre cada variable y ella misma. Por encima de la diagonal principal se presentan los valores p de cada coeficiente de correlación entre pares de variable. Por debajo de la diagonal principal se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre pares de variables

4. DISCUSIÓN

El concepto de conservación de los recursos fitogenéticos en bancos de germoplasma incluye la utilización de métodos que capten la máxima diversidad de genotipos, así como el uso de técnicas de conservación y posterior regeneración que mitiguen sus pérdidas a través del tiempo (Rao, 2004).

En los Bancos de Germoplasma de banana la conservación se dificulta por la no existencia de semilla, los protocolos *in vitro* aún están en estudio (Sánchez Chiang y Jimenez 2010; González-Arno y Engelmann, et al., 2013) por problemas en la mutación inducida (variación somaclonal) y la crio-conservación aún tiene problemas (Panis, 2009; González-Arno y Engelmann, 2013) y resulta muy oneroso, de ahí que la mayoría de los bancos de germoplasma *in vitro* y/o crio conservados, especializados en plantas tropicales se encuentran asociados a centros internacionales de investigación o conservación y, en menor grado, a universidades y para mantener *in vivo* es necesario una gran cantidad de superficie y personal.

Además de los problemas de costos y, en primer lugar, es necesario conservar variabilidad de tipo cualitativa y cuantitativa y mucho de los métodos disponibles para la construcción de IS se aplican solo para la variación continua, como el índice de selección de variedad sintética en el cuál se aplicó Análisis de Componentes Principales.

Es por eso que en esta tesis si bien se siguieron los criterios de cálculos ya aplicados, la metodología usada fue el AFMM, que permite considerar variables tanto cualitativas como cuantitativas. No obstante, solo una de las variables cualitativas, la foliosidad, resultó importante en el AFMM. El Tamaño de racimo y la prolificidad, por ser atributos de fácil evaluación visual, posiblemente hayan sido objeto de una fuerte presión de selección intuitiva por parte de los productores, previa a la recolección de los clones.

Entonces, el germoplasma recolectado no mostró mucha variabilidad para ellos, a diferencia de lo que ocurriría para foliosidad, que si bien es una característica asociada a resistencia y/o tolerancia a Sigatoka amarilla, esta enfermedad puede aparecer en diferentes fases fenológicas del cultivo, su control químico es variables entre productores, en consecuencia sus efectos sobre la producción (y por ende, sobre la posibilidad de realizar selección intuitiva) son variables y la aplicación de fungicidas para el control de Sigatoka, disminuye la variabilidad fenotípica sin afectar la genotípica. De esta manera se podría explicar que este atributo cualitativo sea el que presente mayor diversidad.

En el proceso de análisis de datos se comenzó con un conjunto inicial de 140 clones en la base de datos. Sin embargo, después de realizar una exhaustiva limpieza de datos, para eliminar inconsistencias, registros con valores nulos y observaciones atípicas, se logró consolidar la base de datos final de 129 clones. Esta depuración garantizó la integridad y confiabilidad de los datos utilizados en el estudio, para aplicar el AFMM.

Para la selección de los clones, y dado que el IS por las razones antes expuestas, solo incluyó caracteres cuantitativos, el conjunto de 129 clones se dividió en dos grupos, uno de alta foliosidad compuesto por 82 clones y uno de baja foliosidad compuesto por 47 clones. Por este motivo para tener en el Banco de Germoplasma una muestra representativa, del primer grupo se decidió seleccionar 25 clones y del segundo grupo 15 clones. Para esto se aplicó el IS a ambos grupos, los clones se ordenaron de acuerdo a sus valores, cada grupo se dividió en tres tercios y se tomaron individuos al azar de cada tercio, siendo posible reducir al 29% el número de clones que represente la variabilidad recolectada.

De la evaluación fenotípica a lo largo de cuatro ciclos de producción se verificó que fue posible conservar la variabilidad no solo de las variables que constituyen el IS, sino de la mayoría de los atributos evaluados.

Como se hizo en Capítulos anteriores, primero se hará una discusión por variable y luego se integrarán en las aplicaciones que aporta este trabajo de tesis al programa de mejoramiento y conservación de los recursos genéticos del cultivo.

4.1 Caracteres vegetativos

Altura de planta

La media de estos materiales seleccionados estuvo en 3,33 m, no mostró diferencias a la meda de la población general analizada en el Capítulo II (todos los clones evaluado en el ensayo) de 3,53 m de altura y por debajo de los clones promisorios seleccionados para formar la variedad argentina de banana, con una altura media de 3,62 m.

El mismo comportamiento que la media, tuvieron los valores extremos de esta variable, manteniendo valores parecidos a la población total y diferencias con los clones promisorios, donde el valor extremo mínimo, en concordancia con la selección realizada en este tipo de materiales, tiene un valor más alto, no así en el valor extremo máximo.

Circunferencia de Pseudotallo

La media de circunferencia de pseudotallo de los 140 materiales evaluados fue de 78,91 cm, la de los clones promisorios fue de 82,47 cm, en tanto que, en los materiales seleccionados por el índice para el banco de germoplasma, la media es de 77,16 cm, similar a la población original, pero con una notable diferencia con los clones promisorios.

4.2 Caracteres productivos

Peso de Raquis

En esta variable apenas encontramos diferencias con respecto a lo analizado en los capítulos anteriores, donde el peso del raquis no tuvo cambios, su peso varió muy poco entre los 140 clones evaluados (2,96 kg) y los clones promisorios (3,02 kg). En este caso, las 40 líneas elegidas por el índice de selección tuvieron un valor de 2,73 kg, aunque estas diferencias siguen siendo relativamente pequeñas.

Peso Total

La variable peso total de los materiales seleccionados tuvo una media de 23,30 kg/año, siendo el menor valor, le sigue la media de la población de selección (25,11 kg/año) y finalmente los clones promisorios con 26,77 kg/año en rendimiento. Este menor valor en la media viene dado por la inclusión de clones con poco rendimiento, que fueron muy pocos analizados o tomados en cuenta para la selección de clones promisorios.

Este estudio demostró la presencia considerable de distancia entre los clones seleccionados para el banco de germoplasma y la selección de los clones promisorios, no así con los 140 clones que conforman la población, con respecto a esta diferencia, los valores mínimos son los que explican en todas las variables analizadas, esta diferencia.

Como aplicación para el programa de mejoramiento y conservación de los recursos genéticos de la provincia de Formosa, con los resultados relevados y analizados en este capítulo, en concordancia con lo esperado para un banco de germoplasma, este IS tiene la capacidad de discriminar entre la población aquellos materiales que representan a la misma, sin afectar los valores medios y extremos de la población, siempre en el contexto de reproducción asexual de este cultivo.

4.3 Estructuras de correlaciones o covariancia

Finalmente en este capítulo se evaluó también la estructura de correlaciones entre caracteres, o de covariancias, para conocer el efecto de los procesos de selección diferentes realizados sobre el mismo material de partida, uno de ellos con el objetivo de mejorar la población y obtener una variedad adaptada a los requerimientos actuales y del mediano plazo de los sistema productivos, y el otro con el objetivo de conservar variabilidad pensado en el mediano y largo plazo en un contexto de cambio climático e incorporación de resiliencia. Es importante destacar que en este cultivo para el que nuestro país presenta ambiente de

producción riguroso, las asociaciones entre atributos podrían representar posibilidades distintas de las que ocurren en las regiones productoras tradicionales del resto del mundo.

En líneas generales, en el total de la población se encontraron correlaciones significativas entre variables vegetativas y entre variables reproductivas, siendo escasas las correlaciones entre ambas clases de variables. En el grupo seleccionado para conformar la variedad, solo se encontraron correlaciones significativas entre caracteres productivos, en tanto que el conjunto de 40 clones que conforman el banco de germoplasma mostró una estructura de correlaciones más similar a la población original, salvo que presentó un mayor número de correlaciones significativas entre variables vegetativas y reproductivas.

De esta manera, se evidencia no solo en la estructura de variancia ya discutida, sino también, en la de covariancias, el distinto efecto sobre la composición de ambas poblaciones resultantes de procesos de selección con distintos objetivos, reduciendo la covariancia en el primer sub grupo, en el cuál además se direccionaron hacia caracteres de impacto directo en la cantidad de producto cosechado. Mientras tanto, es más notoria la conservación de la covariancia en el grupo seleccionado para banco de germoplasma en relación a la población original.

La falta de correlaciones significativas entre caracteres vegetativos y entre vegetativos y productivos en la población seleccionada para conformar la variedad puede deberse a que se eligieron las combinaciones de fenotipos que manifiestan una mayor aptitud agronómica de acuerdo a la literatura internacional y que son visualizables desde estadíos tempranos.

A modo de ejemplo, autores internacionales informan que una mayor circunferencia del pseudotallo está asociada a un mayor vigor y, por lo tanto, a una mayor producción. En consecuencia, para conformar un cultivar solo se seleccionaron individuos de mayor circunferencia de pseudotallo, disminuyendo así su variación y su covariación con otros caracteres. Esta variable en cambio, mostró correlaciones significativas en los otros dos grupos de clones, ya que no fue sometida a una selección tan intensa como la realizada para conformar las variedades.

Por otro lado, las correlaciones significativas entre variables vegetativas y productivas identificadas en el conjunto de clones que conforman el Banco de germoplasma, pero ausentes en la población original (como, por ejemplo, entre CP y PT), pueden deberse a que ambas variables formaron parte del IS aplicado. Sin embargo, dado su bajo número no modificarían significativamente la conservación de la estructura de covariación y son esperables, como se mencionó anteriormente, de acuerdo a la bibliografía internacional. Resta corroborar en futuros ensayos si en las condiciones ambientales y de manejo de los agroecosistemas productivos locales representan, como lo sostienen los antecedentes internacionales, combinaciones fenotípicas de interés agronómico.

5. CONCLUSIONES

La aplicación del AFMM permitió caracterizar al conjunto de clones de banana por los caracteres cuantitativos y cualitativos. En efecto, para establecer criterios objetivos y mensurables para identificar un subconjunto de clones que presente la mayor diversidad, con los que se conformará un Banco de Germoplasma, se deberían tener en cuenta ambos tipos de caracteres.

El IS construido a partir de este análisis permitió reducir a un 29 % aproximadamente el número de clones a conservar en un banco de germoplasma, manteniendo los niveles de variabilidad recolectada.

La evaluación fenotípica de los valores medios y las variancias en caracteres de interés agronómico, corroboró que este grupo de 40 clones conserva la variabilidad de la población original.

Adicionalmente, la evaluación de la estructura de covariación en los tres grupos de clones evaluados en esta tesis fue congruente con el logro de los objetivos planteados para los dos procesos de selección realizados, uno tendiente a obtener variedades adaptadas a las condiciones locales y el otro tendiente a conservar la variabilidad.

CAPÍTULO V

“REFLEXIONES FINALES”

¿Por qué producir en el subtrópico de Argentina?

Hay dos factores que estimulan la producción del cultivo de banana en la Argentina, el mercado disponible y su cercanía. Las regiones donde se puede realizar el cultivo a campo, aunque con ciertas limitaciones, abarcan una superficie muy pequeña como para abastecer el enorme mercado de Argentina. Por esta razón, la producción nacional nunca será suficiente para saturar el mercado. Sin embargo, la ventaja de la cercanía permite que en unas pocas horas se pueda llegar al centro de consumo.

La región productora de Formosa tiene apreciables diferencias al referido en la bibliografía internacional más extendida, originadas en el trópico, donde se logran tres cosechas en dos años (Soto Ballester, 2008), con un rendimiento del racimo, 40% superior a las áreas subtropicales (Robinson y Galán Sauco, 2012) y tienen una distribución de la cosecha estable durante todo el año, con una leve diferencia entre las estaciones.

Las bajas temperaturas invernales del clima subtropical, que involucran algunas heladas leves, determinan un manejo anual en la producción, se comienza el ciclo de producción a la salida del invierno, para llegar a la cosecha antes de los fríos severos en el mes de julio del siguiente año. Este manejo concentra la cosecha en los meses de mayo, junio y julio.

En el cultivo a campo, no se puede controlar las bajas temperaturas, pero se puede aprovechar, las mismas que reducen el potencial de rendimiento, tampoco permiten el desarrollo de las enfermedades, haciendo mucho más fácil el control de las mismas e inhibiendo la presencia de otras, como es el caso de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), el flagelo en la producción de los países tropicales.

Permite producir con menos de la décima parte de los pesticidas usados en el trópico y la posibilidad de producir de manera orgánica el cultivo para llegar a los mercados gourmet, aumentando la rentabilidad del cultivo.

Como la mayoría de las frutas perecederas, el factor distancia a los mercados es fundamental para lograr la rentabilidad de un cultivo. En nuestro caso, la posibilidad de llegar a los mercados regionales en unas pocas horas y al mercado Central de Buenos Aires, que abastece a más de 15 millones de habitantes (censo 2022), en solo 16 horas, nos da una extraordinaria ventaja logística.

Esta distancia, en primer lugar, nos brinda la posibilidad cosechar la fruta en un estado de madurez fisiológica más avanzado, que permite acumular mayor cantidad de azúcares, logrando una fruta mucho más apetecible, en aroma, en sabor (como sucede con todas las frutas, uvas, manzanas, peras, melón, etc.), que se destaca sobremanera de nuestra competencia en el mercado, las bananas importadas. El sabor es nuestra marca registrada, con el cuál diferenciamos la producción en el mercado.

¿Desde dónde se arrancó?

Cuando se empezó a estudiar en el cultivo, allá por los años 2003 - 2005, durante las recorridas a campo, se apreciaba la gran diversidad fenotípica que tiene los lotes de agricultores en Formosa, una mezcla muy heterogénea de clones, sin registro alguno de su procedencia, ni estado fitosanitario de los materiales.

Las recorridas en las otras regiones productoras de Argentina (Salta- Jujuy y Misiones) y la región de Guayaibí, departamento de San Pedro, Paraguay, mostraron la misma situación. La revisión de bibliográfica realizada, no mostró investigaciones referentes a identificación, mejoramiento y/o selección de materiales. En ese entonces, no existían materiales inscriptos en el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

Nos encontramos con todo ese material, sin ningún tipo de registro y carente de procesos de selección lógica, solo lotes de producción conformados por una selección intuitiva, realizada a través de los años por los productores.

¿Qué se realizó?

Los estudios realizados en esta tesis demostraron un amplio polimorfismo molecular entre los clones de los productores de Formosa, además, muestra que la variación es mayor dentro de los campos productores y no entre grupos de genotipos de campos. Este resultado cambió la metodología en la selección de los clones, menos productores y una selección realmente intensa dentro de los mismos.

Desde el punto de vista del programa de mejoramiento, no solo se mejoró el tiempo operativo, sino los costos del mismo, haciendo más eficiente el recurso económico (vital en estos tiempos) disponible.

Esta evaluación y reconocimiento de la diversidad genética ha sido el punto de partida para la consolidación del programa de mejoramiento. La tendencia actual de los sistemas productivos, hacia el cuál se va impulsando la región a partir de los nuevos materiales, determinada por el cultivo intensivo de unas pocas variedades de calidad comercial y rendimiento estable, traerá como consecuencia, la pérdida de diversidad genética que se tiene en la región en la fecha actual, a medida que se expanda el nuevo material genético entre los productores.

En el inicio del programa, considerando que en algún momento se iba agotar la variabilidad de clones en campo de los productores, se trabajó sobre la variación somaclonal, considerada como un fenómeno no dirigido en la generación nueva variabilidad genética y el AFLP como técnica de alta reproducibilidad para su identificación.

A la fecha se cuenta con el protocolo para la generación, identificación y evaluación a campo de materiales logrados por variación somaclonal.

¿Qué estrategias se podrían diseñar a partir de los resultados de esta tesis?

La identificación y trabajo sobre las colonias de la región, donde están los productores de punta, los más abiertos a la incorporación de los nuevos materiales y su paquete de manejo, debe ser relevada en primer lugar y de manera intensiva, para no perder la variabilidad que existe en sus lotes. Es necesario cuadricular la región y priorizar cada cuadrícula para eficientizar los recursos disponibles y no perder material.

El trabajo se ve reducido en su complejidad de manera notable, ya que, a partir de los estudios realizados, se puede inferir un fenotipo para nuestra región, con una altura entre 3,50 m y 3,80 m; circunferencia de pseudotallo superior a los 80 cm; con 11 manos a floración; llegar a cosecha con 4 a 5 hojas; longitud de los dedos superior a 24 cm, diámetro de los dedos de 40 mm y grosor de cáscara que supere los 4,00mm. También la fecha en la cual, se expresa mejor el material, los meses de marzo y abril es cuando se manifiestan las características buscadas con el cuál ir a seleccionar en los campos.

Siempre considerando años normales para el cultivo, en las condiciones ambientales subtropicales, sin valores muy extremos como viene sucediendo hace cuatro ciclos productivos, con el fenómeno climático de una “Niña” fuerte, que se ha extendido en el tiempo.

A partir de estos trabajos, correspondería incorporar un ensayo con nuevos clones cada tres años o cuatro años, dado que las condiciones ambientales no permiten una evaluación certera del mismo, hasta el tercer ciclo de establecido el ensayo. De esta forma se logra tener continuidad en el programa e ir entregando material avanzado para la evaluación en los ensayos locales y regionales.

Uno de los trabajos básicos de esta tesis, fue determinar el tamaño de parcela para la evaluación de los materiales, dato que no estaba y pasa a ser relevante en los ensayos comparativos de rendimiento locales. Resulta primordial recalcar la importancia, debido a la enorme cantidad de años que lleva evaluar los materiales, en el área de cultivo de Formosa, el ensayo recién se considera establecido a partir del tercer año. El diseño de los ensayos y su evaluación certera son primordiales en cultivos de ciclos tan largos.

Un rasgo muy importante es la calidad comercial de los materiales, la distancia entre manos pasa a ser un criterio de selección de primer orden, como así también la forma de las mismas. Aquí hay un trabajo enorme de selección a llevar adelante, ya que la fruta al tomar mayor grado (más gordos los dedos), abre la mano y resulta imposible empacar de manera tradicional.

También se debe trabajar muy intensamente en la caja y en la forma del empaque, nuestra fruta no tiene la misma forma que las bananas de origen tropical, nunca la va a tener por nuestros inviernos, no podemos utilizar las cajas tradicionales, se debe rediseñar las cajas de empaque, para nuestro clima y materiales genéticos.

Todo el trabajo en investigación y desarrollo de estos materiales genéticos, es un complemento del “cultivo de banana”, que debe ser trabajado de manera conjunta, con el manejo (fertilización, desbrote, control de malezas, cosecha, etc.), la pos cosecha, el transporte y finalmente la comercialización.

La extensión que se deberá llevar adelante con los materiales resilientes al cambio climático, para minimizar el impacto que este les genera a los agricultores, debe ser manejado con sensatez, considerando que los productores tienen dos o tres hectáreas en producción, es muy tentador ofrecer una sola variedad, que facilita el manejo del lote.

Para ello, se trabajó sobre tres grupos, para mercados diferentes y cada uno está conformado por varios materiales, que, si bien se parecen fenotípicamente, difieren en sus genotipos, que genera mayor probabilidad de enfrentar, no solo la variación climática, sino la presión de los mercados. Sería muy adecuado que los productores de Formosa trabajen con un solo tipo de mercado (por su pequeña superficie), a su elección, pero con al menos tres clones o cultivares diferentes del mismo grupo, evitando una sola variedad.

El manejo del cultivo en los lotes de producción se debe implementar en otra dirección a la actual de la región, es conveniente trabajar el racimo para logra calidad comercial (tamaño de los dedos) de nuestra fruta, de ninguna manera alcanza con tener el clon adecuado en tamaño de fruta, sino trabajamos el racimo.

Hay una máxima en la producción bananera, **“la calidad se logra en el campo”**, con genética y manejo de manera conjunta.

También se está trabajando en el uso de microorganismo efectivos, con cepas nativas de *Trichoderma* y *Bacillus*, en el control biológico de la Sigatoka amarilla, en la estimulación del crecimiento radicular de los brotes, a la salida del invierno y en la disminución de los fertilizantes químicos.

Además, hay otras tesis doctorales que aportan al “Cultivo de Banana Subtropical”:

Licenciado en Genética José Luis Ermini. Tesis de Doctoral en Ciencias Agrarias. UNR, Tema: “Caracterización molecular de clones selectos de banana micro propagados: evaluación de su estabilidad genética y detección de variantes somaclonales”.

Licenciada en Biología Carla Aponte, Beca de postgrado CONICET. Tesis de Doctorado para optar al grado Académico de Dra en Biología UNSa Tema: “Control Biológico de *Mycosphaerella musicola* Leach en Cultivos de Banana de Formosa”.

El conocimiento limitado de la genética del banano local y la naturaleza del cultivo implica que el mejoramiento realizado en otros cultivos no se pudo aplicar en el banano. La conformación del Banco de Germoplasma *in vivo*, se transforma en una labor fundamental para conservar los genes y poder trabajar en un futuro cercano con las nuevas herramientas que la biotecnología desarrolla cada año.

La colección de germoplasma, así como las nuevas mutaciones, incluye una gran cantidad de variabilidad, que las nuevas tecnologías permitirán acceder e introducirlas en nuevos y mejores variedades de una manera diseñada.

De aquí la importancia de completar los marcadores moleculares y evaluar más exhaustivamente en el nivel genómico los cambios en la estructura de variancia y covariancia detectados en esta tesis por el proceso de selección, lo que torna más importancia en una especie de reproducción asexual, ya que las combinaciones genotípicas y fenotípicas logrado no se romperán por efecto de la recombinación. El mejoramiento respaldado por la investigación genómica, con la recopilación y evaluación de la biodiversidad en el género, probablemente garanticen el futuro del cultivo del banano.

Conclusiones finales

La caracterización molecular de los recursos genéticos de *Musa acuminata* (AAA) Subgrupo Cavendish en una muestra del material, compuesta por un grupo selecto de clones, permitió revelar por medio de AFLP, que es una población polimórfica y con diversidad genética, permitiendo el conocimiento de la diversidad molecular ser el punto de partida para los análisis posteriores.

Las condiciones agroecológicas en la provincia de Formosa permiten la producción de banana, aun con las temperaturas invernales que detienen el crecimiento del cultivo, se logra una excelente cosecha anual, con una calidad diferenciada por el sabor de la fruta, que permite una excelente competencia en el mercado.

Entre la variabilidad recolectada en campo de productores, se seleccionaron 30 clones promisorios en rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad comercial adecuada para los mercados nacionales.

Se creó el banco de germoplasma de banana en 2021 y se integró a la Red de Bancos de Germoplasma del INTA. Está conformado con 47 entradas de *Musa spp.*, que incluyen 40 clones seleccionados por el Índice de Selección (IS), cuatro variedades internacionales y otros materiales de interés regional.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Saady, N.; Al-Lawaty, A.; Al-Subhi, A. y Khan, A. (2010) Evaluation of Genetic Diversity in Omani Banana Cultivars (*Musa cvs*) using AFLP Markers. *Journal of Plant Sciences* 5 (4): 402-413.
- Arroyo, A. y Rodríguez, M. (2005) Informe técnico: situación del cultivo de banana en la región subtropical de Salta-Jujuy. EECT Yuto. Agencia de Extensión Orán. 5 p. <http://inta.gob.ar/documentos/informe-tecnico-situacion-del-cultivo-de-banana-en-la-region-subtropical-de-salta-jujuy/>
- Balzarini, M.; Di Rienzo, J. (2012) InfoGen Software. Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.info-gen.com.ar/>: <http://www.info-gen.com.ar/>
- Berardi, A. (1971) El cultivo del banano en la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Suplemento 26. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. 120 pp.
- Bonnin, S.; Faustino, L.; Álvarez, J.; Graciano, C. (2020) ¿La combinación de clones posee alguna ventaja sobre los sistemas monoclonales? Posibles alternativas silviculturales para las Salicáceas, a partir de la revisión de experiencias previas. *Rev. Fac. Agron.* Vol 119 (2): 1-11.
- Brunetti, P.; Leiva, R.; Zapata, R.; Torres, L.; Chaves, A.; Juliani, R. & Ojeda, M. (2022) Inter and intra population phenotypic variability of *Lippia integrifolia* (Verbenaceae) and its natural situation in the west-center of Argentina. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas Medicinales y Aromáticas*.
- Cabrera Cabrera, J. y Galán Saúco, V. (2006) Evaluación de selecciones locales de 'Pequeña Enana' (*Musa acuminata* Colla AAA, subgrupo Cavendish) en las Islas Canarias. En: Soprano, E., Tcacenco, F.A., Lichtemberg, L.A. y Silva, M.C. (eds) *Banana: a Sustainable Business. Proceedings XVII ACORBAT International Meeting*. Joinville, Brasil, 15–20 October 2006. ACORBAT/ACAFRUTA, Joinville, Brazil, pp. 468–471.
- Campo-Arana, R.; Vélez-Leiton, S. y Barrera-Violeth, J. (2020) La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* morelet), en los cultivos de plátano y banano: una revisión. *Fitopatología Colombiana* /vol. 44, no 2, p. 61-66.
- Colque, O. y Tenaglia, G. (2009) Situación actual de la producción, cosecha, poscosecha y comercialización del banano, Formosa, Argentina. I Simposio Cono Sur. Joinville SC Brasil.
- Costa Tártara, S.; Henriques Langer, R.; Torelli, C.; Alfonso, W.; García, M.; Cavallero, M.; Curioni, A. (2020) Caracterización morfológica y fenológica de cultivares de *Matricaria chamomilla* L. utilizados en el centro-norte de la provincia de Buenos". *Plataformas tecnológicas y comerciales para aromáticas cultivadas, nativas y medicinales* /

- compiladores: Ignacio E. Paunero, Viviana G. Spotorno. Pág. 50 – 55. Buenos Aires: Ediciones INTA. ISBN 978-987-8333-28-1 (digital).
- Datos de clima (2022) Aeropuerto de Asunción. <https://www.tutiempo.net/clima/12-2014/ws-862180.html>
- de Oliveira e Silva, S.; Teixeira Souza Junior, M.; Alves, E.; Silva Silveira, J. y Bezerra Lima, M. (2001) Banana breeding program at Embrapa. Crop Breeding and Applied Biotechnology V 1. 399-436.
- Del Medico, A.; Tenaglia, G.; Vitelleschi, M.; Lavalle, A.; Pratta GR (2020) Identificación de clones de banana (*Musa spp.*) para la creación de un banco de germoplasma. XXV Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría Tandil, modalidad virtual.
- Del Medico, A., Tenaglia, G., Vitelleschi, M., Lavalle, A., & Pratta, G. (2021) Análisis factorial múltiple mixto para la identificación de clones de banana (*Musa spp.*).
- Dice, J., Goldberg, A. (1975) Relationship between in vivo degradative rates and isoelectric points of proteins. Proceedings of the National Academy of Sciences, 72(10).
- Elbehri, A. (2015) Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Engelborghs, I.; Swennen, R. and Van Campenhout, S. (1998) Capacidad del AFLP para detectar diferencias genéticas y variantes somaclonales en *Musa spp.* INFOMUSA — Vol 7, N°2 pag 3-6.
- Ermini, J.; Pantuso, F.; Tenaglia, G. y Pratta, G. (2013) Marcadores de AFLP en el cultivo de banana: selección de combinaciones de cebadores y caracterización de la biodiversidad. Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (Universidad de Morón) 11: 83-110.
- Ermini, J.; Tenaglia, G. y Pratta, G. (2016) Genetic diversity, ancestry relationships and consensus among phenotype and genotype in banana (*Musa acuminata*) clones from Formosa (Argentina) farmers. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 17: 267-278.
- FAO (2007) www.fao.org
- FAO (2014) www.fao.org/economic/est/est-commodities/banano
- FAOSTAD (2014) www.faostat.fao.org/default.aspx
- FAO (2020) Perspectivas a mediano plazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028. Roma. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/>
- FAO (2021) Banana Statistical Compendium 2020. Rome. www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/en/www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/https://www.fao.org/faostat/es/#search/banano

FAO (2022) Banana. Marquet Review 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2022.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/156938d0783f4c0e9903277961bd030a/content#:~:text=Global%20exports%20of%20bananas%20declined,paced%20growth%20experienced%20until%202019.&text=Full%20year%20data%20indicate%20that,20.5%20million%20tonnes%20in%202021.>

FAOSTAT (2022) <https://www.fao.org/faostat/es/#search/banano>

Galán Saúco, V. y Robinson, J. (2013) Fisiología, clima y producción de banano. XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos) – Acorbat 2013 Fortaleza, CE. Brasil.

Garcia, A.; Benchimol, L.; Barbosa, A.; Geraldi, I.; Souza Jr, C. y de Souza, A. (2004) Comparison of RAPD, RFLP, AFLP and SSR markers for diversity studies in tropical maize inbred lines. *Genetics and Molecular Biology*, 27 (4) 579-588.

Gonzaga Gutiérrez, L. (2004) Marcadores moleculares AFLP de plantas donadoras de aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.). *Scientia et Technica* Año X, No 25. UTP. ISSN 0122-1701

González-Arnan, M. y Engelmann, F. (2013) Crioconservación de plantas en América Latina y el Caribe. San José, C.R.: IICA. XII, 204 p.

Gubbuk, H., Mustafa P., A. Nací O. y Erkan, M. (2004) Identification and Selection of superior banana Phenotypes in the Cultivar Dwarf Cavendish using Agronomic Characteristics and RAPD markers. *Pak. J. Bot.*, 36(2): 331-342.

Gubbuk, H., Bakry, F., Guven, D., Taskiran, O. y Mathieu, Y. (2020) Agronomic evaluation of new Cavendish banana cultivars for growing in different protected cultivation areas in Turkey. *Acta Hort.* 1272, 27-32

Gueco, L.; Tezano, M.; Yanos, L.; Descalsota, M.; Descalsota, J.; y Sotto, R. (2022) Conservation of Musa Diversity and Germplasm Management at the National Plant Genetic Resources Laboratory in the Philippines". *Plant Genetic Resources, Inventory, Collection and Conservation*. Chapter 11.

Hapsari, L.; Damaiyan, J.; Yulistyarini, T.; Auliya Itsar; H. y Roshindy Malfridatul Zaro, G. (2022) Characterization, potential and conservation of Pisang Kates (*Musa* cv. ABB), a unique local banana cultivar from Pasuruan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas* Volume 23, Number 7, Pages: 3521-3532.

Jarvis, A.; Ramírez, J.; Guevara, E.; Zapata, E. (2008) Impactos e implicaciones de cambio climático para el sector bananero. Acorbat 2008. Brasil.

Johnson, R y Wichern, D. (1992) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Kearsey, M. y Pooni, H. (1996) *The Genetical Analysis of Quantitative Traits*. Chapman and Hall, London.

- Lamas, C.; Urtasun, M.; Giamminola, E.; Pratta, G.; Caruso, G.; Morandini, M. & De Viana, M. 2021. "Fruit and seed characterization of wild populations of a traditional Andean crop: *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae) in the Argentinian Yungas". Genet Resour Crop Evol.
- Lanfranco, J.; Aragón A. y Baridón, E. 2010. Manual Estudio de suelo y sustentabilidad edáfica de sistemas productivos en el Centro de Validación de Tecnologías Agropecuarias (CEDEVA)-Misión Tacaaglé. Formosa. Universidad Nacional de la Plata (UNLP).
- Lanfranco, J., Aragón, A. y Baridón, E. (2011) Manual de pautas y procedimientos para la evaluación y manejo del recurso suelo. Área Subtropical Norte de Formosa.
- Letcher, B.; Coombs, J. y Nislow, K. (2011) Maintenance of phenotypic variation: repeatability, heritability and size-dependent processes in a wild brook trout population. Evolutionary Applications 602 – 615.
- Loh, JP.; Kiew, R.; Set, O.; Gan, LH. y Gan, YY. (2000) Amplified fragment length polymorphism fingerprinting of 16 banana cultivars (*Musa cvs.*). Mol Phylogenet Evol; 17(3) 360–366.
- Madariaga V. y Catalán F. (2020) Valorización del cultivo del ajo (*Allium sativum*) en la región del Libertador Bernardo O'Higgins. 144 p. Boletín INIA N° 424. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Rayentué, Rengo, Chile.
- Manica, I. (1997) Fruticultura Tropical 4: banana. Porto Alegre: Cinco continentes 485 p.
- Manzo-Sánchez, G.; Buenrostro-Nava, M.; Guzmán-González, S.; Orozco-Santos, M.; Youssef, M. y Escobedo-Gracia Medrano, R. (2000) "Genetic Diversity in Bananas and Plantains (*Musa spp.*)".
- Mariotti, J. y Collavino, N. (2014) Los Caracteres Cuantitativos en la Mejora Genética del os Cultivos. Orientación Gráfica Editora 325 pp.
- Mazacotte, V.; F. Scribano y F. Cardozo (2011) Estudio sobre antecedentes históricos y situación actual del cultivo de banana (*Musa paradisiaca*) en la Provincia de Formosa (Argentina). Primer Congreso Internacional del cultivo de banano. IPAF NEA. 29 p.
- Medina, M.; Greenhut, V. y Lachance, P. (1978) Identification of starch and protein components of green banana tissue by scanning electron microscopy and using selective stains for x-ray fluorescent microanalysis. Journal of Food Science, 43(1), 116-120.
- Mira, J. y Sánchez, J. (2013) Rendimiento en banano y determinación de sus componentes. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19662>.
- Moreira, R. (1999) Banana: teoria e prática de cultivo. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 335p.

- Mounce, R.; Smith, P. y Brockington, S. (2007) Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens". *Nature Plants* VOL 3 (795–802).
www.nature.com/natureplants
- Murtaza, N. 2006. Cotton genetic diversity study by AFLP markers. *Electronic Journal of Biotechnology* <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol9/issue4/full/6/>
- Nedeljković, M.; Puška, A.; Doljanica, S.; Virijević Jovanović, S.; Brzaković, P.; Stević, Ž.; Marinković, D. (2021) Evaluation of rapeseed varieties using novel integrated fuzzy PIPRECIA—Fuzzy MABAC model. *PLoS ONE* 2021, 16, e0246857
- Nedeljković, M.; Puška, A.; Suzić, R.; Maksimović, A. (2022) Multicriteria Model of Support for the Selection of Pear Varieties in Raising Orchards in the Semberija Region (Bosnia and Herzegovina). *Sustainability* 1584.
- Nokoe, S y Ortiz, R. (1998) Optimum Plot Size for Banana Trials. *HortScience* 33(1): 130 -132.
- Ocampo-Giraldo, V., Chase, R.; Roux, N., Van den houwe, I., Smale, M., and N. Jamora. (2019) Demand and Use Assessment of Genetic Plant Material from the Bioversity's International Musa Germplasm Transit Centre (ITC) in Africa, Asia and the Pacific. *Genebank Impacts Working paper No. 11*. CGIAR Genebank Platform, Center Bioversity International, and the Crop Trust.
- Opara, U.; Jacobson, D.; Al-Saady, N. (2010). Analysis of genetic diversity in banana cultivars (*Musa* cvs.) from the South of Oman using AFLP markers and classification by phylogenetic, hierarchical clustering and principal component analyses. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 11(5), 32-341.
- Orozco-Santos, M.; Farías-Larios, J.; Manzo-Sánchez, G. y Guzmán-González, S. (2002) Manejo integrado de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) del banano en el trópico seco de México". *Acorbat. Memorias XV Reunión*. Medellín. Colombia.
- Ortiz, R. y Vuylsteke, D. (1995) Recomendad Experimental Designs for Seleccction of Plantain Hybrids. *Infomusa* 4 (1) 11- 12.
- Ortiz, R. (1997) Morphological variation in Musa germplasm. *Genet. Res. Crop Evol.*, 44: 393-404.
- Ortiz, R. y de Cauwer, I. 1998. Genotype –by- Environments for Plantain and Banana (*Musa spp* L.) Breeding in West Africa. *Tropicultura* 16-17 (3) 97 – 102.
- Panis, B. (2009) Crioconservación de germoplasma de Musa. 2a edición. Guías técnicas No. 9 (F. Engelmann y E. Benson, eds). Bioversity International, Montpellier, Francia. INIBAP Bioversity International.
- Park, T., y Florkowski, W. (2023) "Selection of Peach Varieties and the Role of Quality Attributes." *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 28, no. 1, 2003, pp. 138–51.

- Prasad, K.; Gadhave, R.; Kaur, R.; Divyanshi, Das R y Shekhar, S. (2022) Technological, Processing and Nutritional Aspects of Banana and Plantain: A Review. Food Science & Nutrition Technology.
- Priyanka, A.; Sunaina, V.; Virendra, K. y Sharma, RS. (2020) Impact of climate change on plant diseases and management strategies: A review". International Journal of Chemical Studies Vol. 8, Issue 2.
- Promusa (2021) Fusarium wilt of Banana. <https://www.promusa.org/Fusarium+wilt>.
- Rao, NK. (2004) Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology. African Journal of Biotechnology 3:136-145.
- Robinson, J. y Galán Saúco, V. (2010) Taxonomic classification, cultivars and breeding. In Bananas and plantains (pp. 21-49). Wallingford UK: CABI.
- Robinson, J. y Galán Saúco, V. (2012) Plátanos y bananas. Mundi-Prensa. 336 p.
- Rozman, C.; Hühner, M.; Kolenko, M.; Tojnko, S.; Unuk, T.; Pažek, K. (2015) Apple Variety Assessment with Analytical Hierarchy Process. Erwerbs-Obstbau 57, 97–104
- Rozman, C.; Maksimović, A.; Puška, A.; Grgić, Z.; Pažek, K.; Prevolšek, B.; Ćejvanović, F. (2017) The Use of Multi Criteria Models for Decision Support System in Fruit Production. Erwerbs-Obstbau 2017, 59, 235–243.
- Sakai, R. (2010) Controle de tripes na bananeira, cv. Gail-7 (*Musa spp.* AAA). Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz". Piracicaba. 69 p.
- Sánchez Chiang, N. y Jiménez, V. (2010) Técnicas de conservación in vitro para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. Agronomía mesoamericana 21(1):193-205.
- Sánchez Torres, J. y Mira Castillo, J. (2013) Principios para la nutrición del cultivo del banano. Asociación de Bananeros de Colombia - AUGURA. Medellín – Colombia.
- Sardos, J.; Paofa, J.; Janssens, S.; Sachter-Smith, G.; Rauka, G. y Roux, N. (2016) Banana Collecting Mission in the Autonomous Region Of Bougainville (AROB), Papua New Guinea.
- Senasa (2021). DTV-e para transportar banana en fresco. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/desde-el-1deg-de-octubre-sera-obligatorio-el-uso-del-dtv-e-para-transportar-banana-en>
- Shinwari, Z. (1995) Introduction of new Techniques in Biological Sciences in Pakistan. I: Future Directions for Plant Systematics using RFLP. Sci. Tech. Dev., 14(4): 22-30.
- Simmonds, N.; Shepherd, K. (1955) The taxonomy and origins of the cultivated bananas. Botanical Journal of the Linnean Society, 55(359), 302-312.
- Simmonds, N. (1973) Los Plátanos. Editorial Blume. Barcelona. España.
- Soto Ballester, M. (2008) Bananos. Técnicas de Producción, Poscosecha y Comercialización. (Editado digitalmente en CD) 1090 pp.

- Tabares, G y Fálquez, C. (1997) Contenido nutricional y absorción de nutrientes en plantas de banano (*Musa*. AAA), subgrupo "Cavendish" clon "Gran Enano"
- Torres Bazurto, J. (2016) Absorción, distribución y acumulación de nitrógeno en banano variedad Williams en dos ciclos de producción en zona húmeda tropical. Universidad Nacional de Colombia.
- Ude, G.; Pillay, M.; Nwakanma, A.; Tenkouano A. (2002) Analysis of genetic diversity and selectional relationships in *Musa* using AFLP markers. *Theor Appl Genet*; 104(8) 1239–1245.
- Varma, V. y Bebbber, D. (2019) Climate change impacts on banana yields around the world. *Nature Climate Change*.
- Vendrame, W.; Kochert, G. y Wetzstein, H. (1999) AFLP analysis of variation in pecan somatic embryos. *Plant Cell Reports* 18: 853–857.
- Vos, P.; Hogers, R.; Bleeker, M.; Reijans, M.; van de Lee, T.; Hornes, M.; Frijters, A.; Pot, J.; Peleman, J.; Kuiper, J.; Zabeau, M. (1995) AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res*; 23(21) 4407–4414.
- Wang, X.; Chiang, T.; Roux, N.; Hao, G.; Ge, X. (2007) Genetic diversity of wild banana (*Musa balbisiana* Colla) in China as revealed by AFLP markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(5), 1125-1132.
- Wang, Z. (2019) *Musa balbisiana* genome reveals subgenome. *Nature plants*, 5(8), 810- 821.
- Wassu, M.; Kebede, W.; Tekalign, T. y Kiflemariam, Y. (2014) Evaluation of Genetic Variation in Local and Introduced Desert Banana (*Musa spp.*) Genotypes for Morpho-physicochemical Traits". *Technology and Arts Research Journal Sci. Technol. Arts Res. J.* 3(4): 19-28 Journal Homepage: <http://www.starjournal.org/>
- Wong, C.; Kiew, R.; Loh, JP.; Gan, LH.; Lee, SK.; Ohn, S.; Gan, YY. (2001) Genetic diversity of the wild banana *Musa acuminata* Colla in Malaysia as evidenced by AFLP. *Ann Bot*; 88(6) 1017–1025.
- Zhong-hua, W.; Xin-chen, Z.; Yu-lin, J. (2014) Development and characterization of rice mutants for functional genomics studies and breeding. *Rice Sci* 21(4).