

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE FRUTOS DE “GUAYABO DEL PAÍS”  
[*Acca Sellowiana* (Berg) Burret], EN DOS POBLACIONES DE HERMANOS  
COMPLETOS

por

Gustavo Gabriel ROSTAGNOL LONG

TESIS presentada como uno de los requisitos  
para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Montevideo

Uruguay

2022

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Director: \_\_\_\_\_

Lic. PhD. Marianella Quezada

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Clara Prisch

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Beatriz Vignale

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. MSc. Danilo Cabrera

Fecha: 21 de julio de 2022

Autor: \_\_\_\_\_

Gustavo Gabriel Rostagnol Long

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al padre creador de todo, por darme lo que necesito para crecer y ser útil en ésta vida, por cuidarme. Por ser grandioso y MISERICORDIOSO. Por poner en mi camino a personas maravillosas, por todo el amor y abundancia en lo que recibo y puedo dar y crear.

Del tipo de personas que nombré antes; ahí estuvo y está Marianella, con mucha paciencia, excepcional compañera de trabajo en este proceso. Le estoy agradecido por aprender de ella, su profesionalidad y gran persona.

Gracias a Clara Pritsch, Beatriz Vignale y Danilo Cabrera por acompañarme con todo el conocimiento, su vocación, tutoría, me inspiraron y motivaron esencialmente con los frutos nativos.

A mi familia, PADRES; Alba y Nelson, por ser incondicionales, incansables en el acompañamiento, a través de sus oraciones y esfuerzos que me respaldaron por demás. A mis hermanos, cuñadas y mis sobrinos; mis soles, gracias por alentarme, y entender mis ausencias. Igual a mis tíos, primos y abuelos.

Gracias a mis compañeros y AMIGOS de la facultad y los de mi querido Tarariras, y a los que me bancaron en los trabajos en Montevideo y Colonia; Gonzalo, Polli, Foli, Facundo, Rodrigo, Leo, Tato, Felipe, Luciana, Andrea, Cari, Chali, Vane, Euge, Paola, Nico, Cristian, Jorge, Mateo y Víctor.

A las organizaciones de Becas de apoyo a estudiantes; especialmente a la Fundación Chamangá.

Gracias a los compañeros del trabajo de campo y laboratorio; Gonzalo, Evelyn, Santiago, Maximiliano y los demás tanto en Montevideo como en Salto. A Pablo de INIA Las Brujas, a los dueños de las plantas para el mejoramiento, a todos los que aportaron al jardín de introducción de Salto. A Leila por haber estado en gran parte de este camino, apoyarme, y ayudarme a aprender afrontar con perseverancia en los momentos difíciles. A Héctor, mi “abuelo” en Montevideo, Pancho Gorla querido y Manuel Díaz fueron Luces que me marcaron en el camino, y hoy iluminan desde otro lugar.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE	3
2.1.1. Referencias taxonómicas	3
2.1.2. Descripción de la especie	3
2.1.3 Descripción del fruto	4
2.1.4 Distribución natural	6
2.2 CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA	7
2.2.1. Caracterización poblaciones silvestres	7
2.3. DESARROLLO COMERCIAL	9
2.3.1. Producción y Área	9
2.3.2. Desafíos de mercado	10
2.4 MEJORAMIENTO GENÉTICO	11
2.4.1. Mejoramiento genético en Uruguay	11
2.4.2. Mejoramiento genético internacional	12
2.4.3. Índices de selección.	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 MATERIAL VEGETAL	15
3.1.1 Diseño Experimental	15
3.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	18
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	21
3.3.1 Ajuste de Modelo Lineal	21
3.3.2 Índices de selección	22
	IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. VARIABLES EVALUADAS	24
4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	27
4.3 HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES	33
4.4 ÍNDICES DE SELECCIÓN	37
5. CONCLUSIONES	43
6. RESUMEN	44
7. SUMMARY	45
8. BIBLIOGRAFÍA	46
9. ANEXOS	56

## LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

- Figura 1:** Ubicación de la Estación Experimental INIA Salto Grande (INIA-SG) y Estación Experimental Facultad de Agronomía Salto (EEFAS) (ambas indicadas con círculos rojos) en el Departamento de Salto, donde se encuentran las poblaciones H5 y H6, respectivamente. (Imagen tomada del Google Earth, 2018). 16
- Figura 2:** Croquis indicando la localización de la Población H5 dentro de la Estación Experimental Facultad de Agronomía Salto (EEFAS). 17
- Figura 3:** Croquis indicando la localización de la Población H6 dentro de la Estación Experimental INIA Salto Grande (INIA-SG). 18
- Figura 4:** Histograma de variables cualitativas Rugosidad de cáscara (RG), Velocidad de oxidación (VO) y Forma de base (FB) en la población H5 (A) y población H6 (B). 25
- Figura 5:** Medias de las variables tamaño de fruto: Altura de fruto (AF) y Diámetro de fruto (DF) en los 3 años evaluados, para la población H5 (A) y la población H6 (B). 31
- Figura 6:** Medias de las variables peso de fruto: Peso de fruto (PF) y Peso de pulpa (PP), en los 3 años evaluados, para la población H5 (A) y la población H6 (B). 32
- Figura 7:** Gráfico de correlaciones entre variables Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (AD), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS) y Acidez titulable (AT) para las poblaciones H5 (A) y H6 (B), en promedio de los tres años evaluados. Se destacan las más altas en tonos azules (correlación positiva), en tonos rojos (correlación negativa) y en color blanco, las que no fueron significativas ( $p < 0,05$ ). 36
- Figura 8:** Gráfico de componentes principales (PCA) que muestra la distribución de los materiales seleccionados por el índice de clasificación (IC), índice multiplicativo (IM), por ambos índices (Ambos) o no seleccionados en la población H5 de acuerdo a los dos primeros componentes principales. 41
- Figura 9:** Gráfico de componentes principales (PCA) que muestra la distribución de los materiales seleccionados por el índice de clasificación (IC), índice multiplicativo (IM) por ambos índices (Ambos) o no seleccionados en la población H6 de acuerdo a los dos primeros componentes principales. 42

**Tabla 1:** Variables cuantitativas y cualitativas de fruto evaluadas en guayabo del país. Para cada variable se describe la unidad y la metodología utilizada. 19

**Tabla 2:** Caracterización de los progenitores TCO 85-04, Briano y Delpiano para las características cualitativas Rugosidad de cáscara (RG), Velocidad de oxidación (VO) y Forma de base (FB). 26

**Tabla 3:** Valores de media, rango (mínimo y máximo) y desvíos estándar ( $\sigma$ ) de las variables Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (AD), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS) y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6 (promedio de los años 2015, 2016 y 2017). 27

**Tabla 4:** Valores de medias para cada año de evaluación de las variables analizadas: Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (DF), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS), y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6. 29

**Tabla 5:** Heredabilidades para las variables: Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (DF), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS), y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6, estimadas a partir de datos de tres años de evaluación. 34

**Tabla 6:** Lista de individuos seleccionados por los índices de clasificación (IC) e índice multiplicativo (IM) en la población H5 y sus medias fenotípicas para 8 caracteres de fruta. 38

**Tabla 7:** Lista de individuos seleccionados por los índices de clasificación (IC) e índice multiplicativo (IM) en la población H6 y sus medias fenotípicas para 8 caracteres de fruta. 39

## 1. INTRODUCCIÓN

El guayabo del país [*Acca sellowiana* (Berg.) Burret] es una especie frutal nativa del sur del Brasil y noreste de Uruguay. La misma se destaca por presentar frutos con sabor muy agradable y por sus destacadas cualidades nutricionales, representando una alternativa en el mercado de frutas a nivel nacional e internacional. Sin embargo, es considerada una especie desaprovechada, por su incipiente desarrollo comercial a nivel nacional. Además, es una especie que presenta escasos conocimientos genéticos.

El presente estudio se enmarca dentro del programa de Mejoramiento de Frutales Nativos, desarrollado por Facultad de Agronomía-UdelaR y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria que se viene ejecutando desde el año 2000. Dentro de este programa, el Guayabo del país se destaca como la especie más promisoría, liderando los procesos de domesticación y mejoramiento. Además, es el frutal nativo con mayor presencia en plantaciones comerciales y ha sido incluido de forma menor en el sistema de comercio a nivel nacional.

El trabajo se realiza además en paralelo a la profundización en la investigación genómica de la especie Guayabo del País, teniendo ya resultados previos al presente estudio, habiéndose realizado un primer estudio fenotípico. A nivel genómico, se cuenta con un mapa de ligamiento genético de alta densidad para esta especie. Es por lo tanto relevante relacionar dichos avances con el comportamiento fenotípico de la especie, con énfasis en la calidad de fruta, considerando que este es uno de los principales objetivos de mejoramiento desde el inicio del programa de selección y domesticación.

Los programas de mejoramiento requieren de caracterizaciones detalladas y completas, lo cual implica su repetición a lo largo del tiempo, demostrando que las características morfológicas y cualidades organolépticas, quedan estabilizadas en los individuos y/o poblaciones. Mediante una caracterización rigurosa y sistemática es posible obtener indicadores de variabilidad, heredabilidad entre otros parámetros. Complementando esta información analítica, con los criterios de selección por atributos de interés definidos por productores y consumidores, es posible diseñar indicadores que nos permitan identificar los individuos superiores dentro de una población. Los mismos pueden ser aplicados tanto para seleccionar individuos con características deseadas por el programa de mejoramiento tanto como materiales interesantes para productores.

El presente trabajo tiene como objetivo general se establecieron como objetivos específicos; describir la variabilidad y estabilidad del comportamiento de dos poblaciones  $F_1$  durante tres años de evaluación. Dicha variabilidad será



estudiada y además la correlación existente entre características de importancia agronómica que se relacionan a calidad del fruto. Como etapa última se procede a identificar genotipos superiores en las poblaciones por medio de la aplicación de diferentes índices de selección.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE

#### 2.1.1. Referencias taxonómicas

La especie *Acca sellowiana* (Berg.) Burret es un árbol frutal originario del Brasil y Uruguay, conocido popularmente en Uruguay como “guayabo” o “guayabo del país”. En Brasil es llamado principalmente “goiabeira serrana” o “Goiabera do mato”, así como con el nombre más reconocido internacionalmente “feijoa” (Santos, 2005).

Esta especie pertenece al orden Myrtales, a la familia Myrtaceae, a la subfamilia *Myrtoideae* y la tribu *Myrteae* (Cronquist, 1981). Además del guayabo, dentro de esta tribu se destacan otras especies frutales nativas como ser: Pitanga (*Eugenia uniflora* L.), Guaviyú [*Myrcianthes pungens* (Berg.) Legr.], Arazá (*Psidium cattleianum* Sab.), Ubajay [*Hexachlamis edulis* (Berg.) Legr. et Kaus.] y Cereza del Monte (*Eugenia involucrata*), entre otras.

El género *Acca* está conformado por la especie *A. sellowiana*, junto con las especies *Acca lanuginosa* y *Acca macrosterma*, estas últimas nativas de los sistemas montañosos andinos en Perú. En el caso de *A. sellowiana* presenta su distribución natural en el sur de Brasil y el nordeste de Uruguay (Legrand, 1968, Ducroquet et al., 2000). Algunos registros indican la presencia de *A. sellowiana* al nordeste Argentina (Sur de Misiones), formando parte de montes sub-ribereños o solitarios en monte de parque. Sin embargo, estos registros se asocian con relictos de bosques artificiales o poblaciones sub-espontáneas (Keller y Tressens, 2007).

#### 2.1.2. Descripción de la especie

La especie *A. sellowiana* es un árbol de pequeño porte o arbusto, que puede alcanzar de 2 a 4 m de altura. En condiciones ambientales óptimas, puede alcanzar los 6 mts en Uruguay (Grela, 2004). Presenta una corteza escamosa de fondo rojizo, de copa muy ramificada y flores vistosas (Ducroquet et al., 2000).

La hoja es perenne, opuesta, con forma elíptica, coriácea, de color verde oscura satinada en el haz y blanco plateada en el envés. Puede lograr un aspecto condensado con su copa, generado por su follaje muy frondoso. El sistema radicular presenta muchas raicillas absorbentes, desarrollando principalmente un sistema radicular superficial. Este le permite adaptarse a diferentes tipos de suelos, con la particularidad de no soportar bien el exceso de agua (Azam et al., 1981).

Contrastando con otras especies de la misma tribu, *A. sellowiana* se distingue por presentar inflorescencia de una sola flor, con cuatro verticilos (tetrámera). Tiene pétalos carnosos y dulces, de color rosa a rojo. Presenta numerosos estambres que sobresalen de la flor, con filamentos púrpuras, erectos en el botón floral (Puppo, 2008). Las flores son hermafroditas y se desarrollan en las axilas de las hojas. Las mismas son vistosas, solitarias y se consideran melíferas (Puppo, 2008, Thorp y Bielecky, 2002). Las flores permanecen cuatro días, y en ese tiempo pueden realizar autogamia (flores autofértiles en algunos casos), o lo que mayormente sucede, es la polinización cruzada (alogamia) principalmente realizada por insectos y pájaros (Tocornal, citado por Cunda, 2006, Tállice, citado por Puppo, 2008). Cacioppo (1988) reporta en Chile a los pájaros mosca (*Thamnophilos*), semejantes al colibrí, como responsables mayoritarios de la polinización cruzada, siendo el polen de color amarillo intenso el principal atractivo para los pájaros. En Colombia, la Mirla negra (*Tordos fuscater*) mejoró la cantidad de flores polinizadas, en evaluaciones bajo condiciones soleadas y secas del clima (Fischer, 2003). A partir de los resultados de estudios de polinización ornitófila en Uruguay, no fue posible identificar una especie de pájaro asociada a la flor de guayabo. Sin embargo, fueron identificadas principalmente abejas, *Apis mellifera*, así como otras cuatro especies nativas, como responsables de traspasar el polen entre las flores (Santos et al., 2010).

### 2.1.3 Descripción del fruto

La fruta del guayabo es una baya de corteza lisa a rugosa (incluyendo un amplio rango de rugosidades intermedias), de color verde (verde claro a verde oliva) y con diferentes niveles de brillo. El largo del fruto varía entre 2 a 5 cm, de ancho 2,5-6 cm (Thorp y Bielecky, 2002), mientras que su peso se encuentra en un rango muy variable que va desde los 20 g hasta los 250 g (Ducroquet et al., 2000). Es un fruto coronado con cáliz persistente, de forma ovoide a alargado, con pulpa de color blanquecino y presencia de pequeñas semillas fértiles en gran número, pudiendo superar 100 semillas por fruto. El

sabor de la pulpa es agridulce, muy agradable y de buen aroma (Ducroquet et al., 2000, Degenhardt et al., 2001). La pulpa puede tener hasta un 50% de rendimiento con respecto a todo el fruto, siendo este un rasgo muy variable (Ducroquet et al., 2000, Degenhardt et al., 2001).

La producción de fruta puede iniciarse a partir de los 3 o 4 años y sigue aumentando el rendimiento en los 5 años siguientes (Grela, 2004, Cabrera et al., 2012). Para el hemisferio sur, la maduración en Brasil, se da desde fines de febrero hasta fines de mayo, y este período se puede desviar 3 o 4 semanas. En Uruguay, el período adecuado para la cosecha se da desde fines de febrero a mediados de mayo, anticipándose unos 15 días en el norte, con respecto al sur del país (Vignale y Bisio, 2005). En Nueva Zelanda y Chile el ciclo de cosecha se extiende entre abril y mayo. En el hemisferio norte, por ejemplo, en Francia e Italia, la maduración ocurre en los meses de octubre y noviembre (Ducroquet et al., 2000, Degenhardt et al., 2001).

El fruto se destaca por su importante valor nutracéutico, dado por la presencia de polifenoles, antioxidantes, además de un bajo valor calórico, contenido de yodo, magnesio, potasio, calcio y vitaminas; C, B6, B9 y K. Extractos de la piel del fruto (justo bajo la epidermis) han manifestado propiedades antitumorales y anti microbianas (Nakashima, 2001). En un estudio sobre los aspectos nutricionales de especies nativas del Uruguay, se señala que para guayabo del país el contenido de microelementos con importancia nutricional (Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, Se y P) superan ampliamente los encontrados en otras frutas de mayor consumo como es el caso de ananá, banana, ciruela blanca, durazno, frutilla, higo, kiwi, limón, mandarina, melón, membrillo, naranja, pera, pomelo y sandía (Martínez et al., 2010). El fruto de *A. sellowiana* se destaca también por el contenido de vitamina C (35mg/100g), comparable al de la naranja, y alto contenido de yodo (3mg/100g) (Ducroquet et al., 2000). El estudio de Pasquariello et al. (2015) determinó una alta actividad antioxidante y considerable cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides en el fruto del guayabo.

El fruto de guayabo es utilizado principalmente para consumo en fresco, siendo el uso principal y más reconocido de la especie a nivel internacional. Adicionalmente son realizadas diversas preparaciones como mermeladas, licores, salsas, etc. (Rosano et al., 2012). Además del uso de su fruto, los pétalos pueden ser también utilizados en la alimentación (Rosano et al., 2012). Además, se han estudiado los compuestos aromáticos presentes en los frutos para ser utilizados como métodos alternativos en el control de enfermedades de poscosecha (actividad antifúngica o fungistática), y el estudio de su interesante actividad antioxidante (Silveira et al., 2016). Finalmente, el guayabo

destaca por su uso como planta ornamental, utilizado en plazas, parques y jardines.

#### 2.1.4 Distribución natural

La especie *A. sellowiana* es originaria de la región austro-brasileña, región que se extiende en la faja subtropical que va desde suroeste del estado de Paraná hasta el sur de Río Grande do Sul en Brasil, hasta aproximadamente la mitad norte del Uruguay (Popenoe, 1912). En las regiones altas de Brasil se asocia a la vegetación de bosques de araucaria del Planalto meridional, más precisamente en las serranías de los estados de Santa Catarina y del nordeste de Río Grande do Sul. Cuando se lo encuentra a menor altitud se asocia a bosques ralos junto con praderas naturales, serranías o quebradas, como se presenta en el sur del estado de Paraná (Brasil) y en los departamentos al norte y noreste de Uruguay (Thorp y Bielecki, 2002).

El desarrollo de esta especie se da principalmente en un clima templado o subtropical húmedo, y resistiendo un amplio rango de temperaturas, lo que ha permitido su fácil adaptación fuera del área de distribución natural. Las temperaturas más bajas registradas para la especie van desde los 11 °C bajo cero, y las máximas alcanzan los 35 a 40°C en Uruguay (Chandler, 1962). Sin embargo, temperaturas medias de 13 a 21°C han sido indicadas como ideales para el desarrollo y fructificación de la planta (Ducroquet et al., 2000). Según estudio realizado en California (EEUU) la especie requiere de 100 a 200 horas de frío (entorno a los 7°C), para lograr un buen comportamiento productivo (Sharpe, citado por Thorp y Bielecki, 2002). El criterio de temperatura media anual de alrededor de 16° C parece válido para delimitar áreas de ocurrencia de la especie, mientras que la disminución de altitud en las poblaciones de Uruguay es compensada por el aumento de latitud (Ducroquet et al., 2000).

El rango pluviométrico se encuentra entre 1200 mm y 1650 mm, siendo que en Uruguay las poblaciones están promedialmente en el nivel inferior de este rango. Las poblaciones naturales se sitúan en un rango de altitud que va desde aproximadamente 100 mts en Uruguay (Puppo, 2008), y superan los 900 mts en Brasil (Ducroquet et al., 2000, Thorp y Bielecki, 2002).

A partir de la variabilidad fenotípica observada en el área de distribución natural de la especie se han identificado dos grupos llamados “Grupo Brasil” y “Grupo Uruguay”, con diferente distribución geográfica. La población conocida como “Grupo Brasil” se encuentra a mayores altitudes del planalto meridional

brasileño, sobre suelos de origen basáltico, abarcando un área de sierra predominantemente cubierta por bosques de araucaria. Los materiales de este grupo se identifican por presentar frutos de mayor tamaño, de semillas grandes y frutos de cáscara dura y seca. Por otro lado, los materiales identificados como “Grupo Uruguay” está restringida a poblaciones presentes en el sur del estado de Río Grande do Sul (Brasil) y norte de Uruguay, asociada a áreas de menor altitud. En este caso los materiales se destacan por presentar frutos de menor tamaño, de semillas pequeñas y frutos con cáscara blanda y succulenta (Mattos, 1986). Estas claras diferencias fenotípicas son consideradas apenas como formas distintas y no como especies diferentes (Santos, 2005).

## 2.2 CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA

### 2.2.1. Caracterización poblaciones silvestres

Estudios de diversidad genética y fenotípica de *A. sellowiana* en Brasil, se han enfocado en poblaciones silvestres bajo diferentes grados de influencia antrópica, asociados a unidades de conservación, así como tierras indígenas o quilombolas en el sur del país (Borsuk et al., 2017). Estos estudios revelaron la existencia de cuatro grupos morfológicos diferentes, principalmente discriminados por las variables cuantitativas: diámetro, longitud y peso del fruto. Análisis de varianza demostraron diferencias significativas para los caracteres de fruto que presentaron mayor diversidad morfológica, como es el caso de peso de fruto y rendimiento de pulpa, mostrando mayor productividad en las poblaciones de quilombolas de mayor influencia antrópica (Borsuk et al., 2017).

En Uruguay también se han caracterizados poblaciones silvestres de *A. sellowiana*, incluyendo poblaciones con manejo mediante selección participativa de pobladores rurales (Puppo, 2008, Calvete, 2013). La caracterización morfológica de cuatro poblaciones silvestres ubicadas en el norte y noroeste del Uruguay, detectó una amplia diversidad para características de fruto, follaje y fenológicas (floración y cosecha) (Puppo, 2008). En base a estas características fueron definidos cinco grupos morfológicos. Además, permitió validar caracteres morfológicos cuantitativos (16) y cualitativos (10) para discriminar materiales de *A. sellowiana*, que fueron propuestos como descriptores de la especie (Puppo et al., 2014). La diversidad morfológica observada fue confirmada por la variabilidad genética detectada empleando marcadores moleculares RAPD (Baccino, 2011). En este trabajo se detectó una gran variabilidad entre poblaciones y dentro de las mismas (esperado por ser una especie alógama). La diversidad encontrada indica el potencial de los recursos genéticos silvestres para la domesticación de la

especie (Puppo, 2008).

### 2.2.2 Caracterización fenotípica ex-situ

Como forma de preservar la diversidad genética de la especie, bancos de germoplasma se han creado tanto en los países centro de origen de la especie, así como en países donde es cultivada de forma comercial. En Uruguay, el primer jardín de introducción fue instalado en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto (EFFAS), con materiales provenientes de diferentes lugares del país, tanto silvestres como domesticados en cultivos o jardines (Vignale y Bisio, 2005). El principal objetivo de este banco fue la evaluación de materiales de guayabo para seleccionar mejores frutos en cuanto a sabor y diversidad. Posteriormente, en la Estación Experimental Las Brujas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) se instaló un segundo banco de germoplasma mantiene accesiones de guayabo del país para ser estudiadas por características de calidad y su potencial comercial. Los materiales en ambos bancos son estudiados para características morfológicas y fenológicas. Los mismos se complementan con módulos de caracterización y plantaciones en predios de productores comerciales, los que aportan más información al programa. En total se cuenta con 110 materiales en etapa de selección (8° Encuentro Nacional sobre frutos Nativos, 03/2017). Finalmente, poblaciones hermanos completos generadas a partir de cruzamiento entre padres seleccionados y complementarios para características de interés son mantenidas tanto en la estación experimental (EEFAS) como en la Estación Experimental de INIA en Salto Grande (INIA-SG) con el objetivo de evaluar aspecto de calidad de fruta. Una primera caracterización de estos materiales fue realizada en el trabajo de Álvarez (2018).

En Brasil, el Banco Activo de Germoplasma (BAG-Epagri, Santa Catarina, Brasil) cuenta con un gran número de plantas tanto de origen silvestres como de materiales domesticados (Ducroquet et al., 2000). El mismo ha sido evaluado para los principales caracteres agronómicos (Saifert, 2019). Para un total de 229 accesiones, se han registrado la variabilidad de 10 caracteres cuantitativos y 8 cualitativos de fruto. Los resultados describen una amplia variabilidad para el tamaño, sabor, espesor de cáscara, peso, así como consiguientes relaciones entre algunos de los caracteres medidos. La variabilidad interanual, como efecto año, también fue muy relevante en todos los materiales evaluados (Sánchez-Mora et al., 2019).

Fuera de su área de distribución natural, el Banco de Germoplasma instalado en Turquía (Provincia de Sakarya) cuenta con más de 300 genotipos. En dos años de evaluación (2009 y 2010), 28 materiales provenientes de un banco de semillas fueron evaluados para diferentes variables morfológicas: peso de fruto,

tamaño, acidez, sólidos solubles y aroma (Beyhan y Eydurán, 2011). También se determinaron los períodos de floración y cosecha para todos los genotipos del estudio. Utilizando un índice de selección ponderado, 16 genotipos fueron seleccionados como superiores. En promedio estos materiales presentaron peso de fruto entre 21 y 40 gramos, largo de fruto entre 27 y 60 mm y ancho de fruto entre 23 y 40 mm. A pesar de la gran diversidad encontrada, los materiales seleccionados presentaron un comportamiento fenotípico notablemente inferior, por ejemplo, en peso y tamaño de fruto, de los cultivares comercializados internacionalmente (Beyhan y Eydurán, 2011). En Colombia, el Feijoa National Center (CENAF) en La Vega, Cundinamarca, cuenta con más de 1500 accesiones, sin embargo, no se han publicado reportes sobre la variabilidad fenotípica o genotípica entre los materiales. Del mismo modo, el Nikitsky Botanical Garden localizado en la península de Crimea cuenta con más de 400 accesiones de guayabo del país (Fischer y Parra-Coronado, 2020).

## 2.3. DESARROLLO COMERCIAL

### 2.3.1. Producción y Área

En los últimos años la fruta del Guayabo del país ha comenzado a manifestarse con más notoriedad en el mercado de frutas y hortalizas uruguayo. Si bien, es una fruta que lleva varios años en las ferias barriales de la ciudad de Montevideo y zona metropolitana, el subdesarrollo para esta especie como frutal comercial en el país no había generado mayor expansión. Esto se explica en el origen de los montes comerciales a partir de semilla, lo que genera una gran heterogeneidad en la calidad de fruto (forma, tamaño, sabor, etc.) además de la época de cosecha y productividad, dificultando la obtención de frutos para comercialización.

En los países centro de origen de la especie, el cultivo de guayabo es aún incipiente, y la información sobre área, producción y comercialización es escasa. En Uruguay, sin considerar pequeñas plantaciones para auto-consumo, se han registrado algunas plantaciones de guayabo con fines comerciales. Las mismas se encuentran mayormente al sur del Río Negro en pequeñas quintas de productores familiares, que en casi todos los casos también tienen otros cuadros de frutales de hoja caduca o cítricos, o se combinan con productores hortícolas<sup>1</sup>. Actualmente, unas 10 háts son las registradas con producción de guayabo, todas con manejo de riego y siguiendo la sistematización y manejo similar al de frutales tradicionales (manzanos,

---

<sup>1</sup> Dini, M. 2021. Com. personal.



durazneros, perales, etc.)<sup>2</sup>. En total (auto-consumo y plantaciones comerciales) se consideran para Uruguay unas 12 há con plantaciones de guayabo, entre aproximadamente 20 productores. En Brasil, el cultivo de Guayabo se realiza principalmente en la región sur, donde se ha observado un mercado promisorio. En el estado de Santa Catarina en 2012 se registraron 15 agricultores que cultivaron 11 há, que producen 86.8 toneladas / año de frutos (EPAGRI. CEPA, 2013, Borsuk et al., 2017).

A pesar de ser una especie nativa de Brasil y Uruguay, Colombia se destaca como el principal productor de *Acca sellowiana* a nivel internacional. En ese país se cuenta un total de 307 ha y 2765 t, la mayoría a gran altura; entre 1500 y 2800 m.s.n.m. El promedio productivo por há promedia las 8.5 toneladas; estos datos han sido extraídos desde el Ministerio de Agricultura de Colombia (2018), donde se observa en el buscador por "Feijoa", la evolución productiva en el período 2007-2019. Nueva Zelanda se destaca como el segundo productor a nivel mundial, siendo que en este país se cuenta con más de 150 há cultivadas de feijoa, con más de 200 productores y un promedio de 7333 kg/há de producción, (1100 toneladas producidas totales) (Freshfacts, 2020). Otros países también se destacan por su producción, como Georgia y Ucrania, y en otros es aún incipiente como en Estados Unidos, Australia, Turquía y China (Fischer y Parra-Coronado, 2020).

### 2.3.2. Desafíos de mercado

En Uruguay, el desarrollo del mercado para esta fruta, está en proceso de fortalecimiento, tras la incidencia de algunos factores desde diferentes partes de la cadena comercial. A nivel de investigación y productivo, un nuevo impulso fue obtenido con la liberación de cultivares locales (INIA Fagro Artillera, INIA Fagro Cerrillana e INIA Fagro Isleña) por el programa de Mejoramiento de Frutales Nativos llevado adelante por la Facultad de Agronomía-UdelaR y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). La disponibilidad de estos materiales es facilitada por viveros que multiplican y proveen de materiales, para la plantación de nuevos montes comerciales. Por último y fundamental, los consumidores son los que han sido propulsores directos, al tener más información y conciencia respecto de los beneficios del guayabo del país como alimento nativo con excelentes cualidades nutricionales. El nuevo espacio de ventas UAM, incidió para fomentar, junto con las publicaciones de su "canasta inteligente", así como también, sucesivos artículos periodísticos que sugieren su consumo en plena temporada de cosecha (Pereira, 2021).

---

<sup>2</sup> Cabrera, D. 2021. Com. personal.

Sin embargo, esta fruta presenta a nivel nacional muchos desafíos para expandirse como producto comercial y posicionarse en el mercado de frutas, entre ellas: homogeneidad del producto, protocolos de manejo a nivel productivo, estrategias de difusión y marketing, aumento de desarrollo de productos elaborados del tipo industrial y gastronómicos (bebidas, mermeladas, helados, etc.) (Rosano et al., 2012). Además, la fruta presenta escasa capacidad de conservación poscosecha, aunque se ha investigado al respecto. Un ejemplo de ello es el análisis de las propiedades de calidad de fruto tales como firmeza de la pulpa, tasa de pérdida de contenido de vitamina C, polifenoles y antioxidantes, a temperatura de conservación 1°C (Silveira et al., 2016).

La comercialización del Guayabo del país a nivel internacional, se da mayormente con el nombre de Feijoa, dado que los mayores exportadores son Colombia y Nueva Zelanda, y de esa forma lo nombran (Freshfacts, 2020, Quintero, 2015). Es de destacar que la mayoría de las variedades comercializadas en el extranjero, son originadas de las colecciones del botánico francés Edouard André, de fines del siglo XIX. Estas han sido mejoradas en Nueva Zelanda, Colombia, Francia, Italia y Estados Unidos, mayoritariamente generadas a partir de materiales colectados en Uruguay. En consecuencia, los cultivares comerciales de estos países presentarían una estrecha base genética (Dettori y Palombi, 2000).

## 2.4 MEJORAMIENTO GENÉTICO

### 2.4.1. Mejoramiento genético en Uruguay

El inicio del proceso de selección y mejoramiento de *A. sellowiana* en Uruguay fue en el año 2000, y desde allí se generaron principalmente dos jardines de introducción; uno en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía de Salto y otro la Estación Experimental INIA-Las Brujas. También han sido parte de la investigación algunos módulos de cultivo como lo son en Artilleros, Colonia, Juanicó-Canelones y al norte en INIA-SG en Salto. El programa de mejoramiento se inició con la colección de materiales tanto de zonas silvestres, como materiales asociados a cascos de estancias, quintas de zonas rurales, parques y plazas. Los materiales son evaluados durante varios años en los jardines de introducción, tanto en características morfológicas, fenológicas, de producción y sanidad. También fueron realizados cruzamientos entre materiales destacados con el objetivo de complementar las características deseadas. Como resultado, se han liberado hasta la actualidad 3 cultivares, que fueron el resultado de la investigación conjunta entre INIA y Facultad de

Agronomía-UdelaR más productores de diversas partes del país. Los cultivares son INIA Fagro Isleña, INIA Fagro Cerrillana, e INIA Fagro Artillera, nombradas en orden de fecha de cosecha que va desde el 22 de febrero hasta el 5 de mayo. Todos los cultivares presentan cáscara verde clara a media, lisa y de espesor fino, dada las expectativas del mercado. Todas de sabor bueno, equilibrado y agradable, deseado para una fruta que debe ser conocida y aceptada por los consumidores

Adicionalmente al programa formal de mejoramiento genético, fue realizado un programa de mejoramiento participativo con actores locales en Quebrada de los Cuervos, dpto. de Treinta y Tres. Del mismo resultaron tres plantas seleccionadas como superiores: “96”, “44”, “253”. Estos materiales identificados por productores, pobladores, entre otros actores locales también corroborados y coincidentes con investigación formal al mismo (Calvete, 2013).

#### 2.4.2. Mejoramiento genético internacional

A nivel internacional, varios países han desarrollado sus propios programas de mejoramiento genético de *A. sellowiana*, siendo o no países centro de origen de la especie. En primer lugar, en Brasil, se han utilizado tanto materiales de zonas silvestres como cultivares de otros países para dar inicio al programa de mejoramiento (Ducroquet et al., 2007). Como resultado, Epagri ha liberado hasta el año 2008, 4 cultivares; Alcántara, Mattos, Helena y Nonante (Ducroquet et al., 2008). Brasil junto con Uruguay tienen un alto potencial para generar nuevos cultivares para el mundo dado su alta diversidad genética, condición dada por pertenecer a la región de dispersión natural.

Fuera de su centro de origen, los primeros cultivares conocidos son los llamados 'André' y 'Besson' desarrollados a comienzos del siglo XX. Estos fueron dispersados por muchas zonas de Europa y alrededores (Francia, Italia, Israel, Azerbaiyán, Grecia) incluso, 'André' fue el cultivar antecesor de las variedades que se establecieron en California, Estados Unidos. Todas ellas, son producto de una base genética relativamente estrecha, dado que partieron originalmente de los mismos materiales llevados por el Dr. Edouard André desde Montevideo (Mattos, 1986).

A partir de estos materiales, fue también establecido el programa de mejoramiento de Nueva Zelanda, programa que ha liberado la mayor cantidad de cultivares hasta el momento (Thorp y Bielecki, 2002). Además, estos materiales han sido utilizados en programas de mejoramiento o para cultivo en otros países. De los más de 20 cultivares obtenidos en Nueva Zelanda, siete de ellos fueron introducidos por INIA en Uruguay para su evaluación local: Apollo,

Triumph, Kakapo y Unique (variedades libres), y Anatoki, Kaiteri y Kakariki (variedades protegidas) (Rodríguez et al., 2021).

Desde 1987, se instaló en una zona alta de Cundinamarca, Colombia (2050 m), un banco de germoplasma de 1500 accesiones, de diferentes orígenes incluyendo cultivares mejorados de Nueva Zelanda. En el correr de los años de evaluación fueron registrando la producción y seleccionando a los mejores materiales. Como resultado del programa de mejoramiento colombiano, 15 accesiones con mayor producción y tamaño de fruto fueron seleccionadas. Los más relevantes son los clones 8-4, 41 (Quimba), 15.1 y UN. Los mismos tienen diferencias de fecha productiva y de producción según la altura del cultivo (Quintero, 2015).

#### 2.4.3. Índices de selección.

El objetivo de los programas de mejoramiento es la obtención de cultivares superiores para varias características morfológicas de interés y adaptados a las condiciones locales. En este sentido, la selección por más de una característica de forma simultánea resulta un desafío para los mejoradores. Esto se explica por la potencial correlación existente entre los caracteres que, por ejemplo, si fueran correlaciones negativas, implicaría que el aumento de un carácter se asocia con la consiguiente reducción del carácter negativamente correlacionado (Falconer y Mackay, 1996). Los índices de selección pueden considerar en su estructura las correlaciones genéticas entre los caracteres, su importancia económica relativa en cada carácter, heredabilidad, etc. Su ventaja radica en aplicar selección para todas las variables morfológicas de interés de forma simultánea.

Diferentes índices de selección han sido propuestos en la literatura, siendo el primero aplicado en plantas el índice clásico propuesto por Smith (1936). El mismo utiliza la correlación entre los caracteres incluidos en el índice, así como el peso o valor económico atribuido a cada carácter. El índice de Williams (1962) utiliza una ponderación de los valores fenotípicos con relación a su peso económico. Una de las principales limitaciones de ambos métodos, es la definición del peso económico asociado a cada variable (Lessa et al., 2010). El índice de suma de clasificación propuesto por Mulamba y Mock (1978) tiene la ventaja de no utilizar pesos económicos, sino que es obtenido por el ordenamiento (ranking) de los genotipos para cada variable de interés, y sumada las clasificaciones para todas las variables. El índice propuesto por Elston (1963), o índice multiplicativo, clasifica a los genotipos para todos los caracteres con la misma ponderación.

El uso de índices de selección tiene una amplia difusión en el mejoramiento genético, tanto de cultivos, como de especies frutales. Ejemplos de uso de índices de selección en trigo, mostraron mayores ganancias genéticas que la selección directa basada en caracteres de forma individual (Fellahi et al., 2020). Su uso en frutales se destaca por permitir la selección simultánea para caracteres de calidad de fruta y de producción. Para el fruto del maracuyá, el índice de ranking (Mulamba y Mock, 1978), resultó eficiente para la selección de materiales superiores para características de fruto y de producción (Silva et al., 2012). Para esta misma especie, este índice se mostró adecuado para la selección combinada de múltiples características, reportando las mayores ganancias genéticas (Gonçalves et al., 2007). En frutilla, varios índices de selección fueron evaluados y comparados, resultando en diferentes niveles de ganancia genética, pero todos con alta eficiencia en la selección de híbridos superiores (Vieira et al., 2017). En bananas diploides, los índices de selección multiplicativo, de suma de clasificación y genotipo-idiotipo se mostraron eficientes en la selección de híbridos superiores (Lessa et al., 2010), los que generaron resultados más similares, en base a una mayor correlación de pearson, fueron el índice de selección multiplicativo y el de suma de clasificación (0,83). Sin embargo, estos autores destacan la importancia de evaluar varios índices, para identificar los más adecuados para la especie y población de mejoramiento.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL VEGETAL

Para este estudio fueron analizadas dos poblaciones F<sub>1</sub> de hermanos enteros llamadas H5 y H6 de *A. sellowiana*, compuestas por 180 y 200 plantas, respectivamente. Estas poblaciones forman parte del programa de mejoramiento genético de Frutales Nativos que desarrollan la Facultad de Agronomía-Udelar y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Las poblaciones en estudio fueron implantadas en el año 2010.

Las poblaciones H5 y H6 presentan el mismo progenitor femenino TBO 85-04, el cual se caracteriza por ser un material silvestre con frutas pequeñas, de cáscara lisa, fina y de color verde pálido. Las poblaciones se diferencian en sus progenitores masculinos, identificados como Briano el de H5 y Delpiano el de H6. A diferencia del progenitor femenino, Briano y Delpiano presentan frutos grandes, de cáscara rugosa y algo rugosa, gruesa e intermedia y de un color más oscuro y opaco (Vignale et al., 2012).

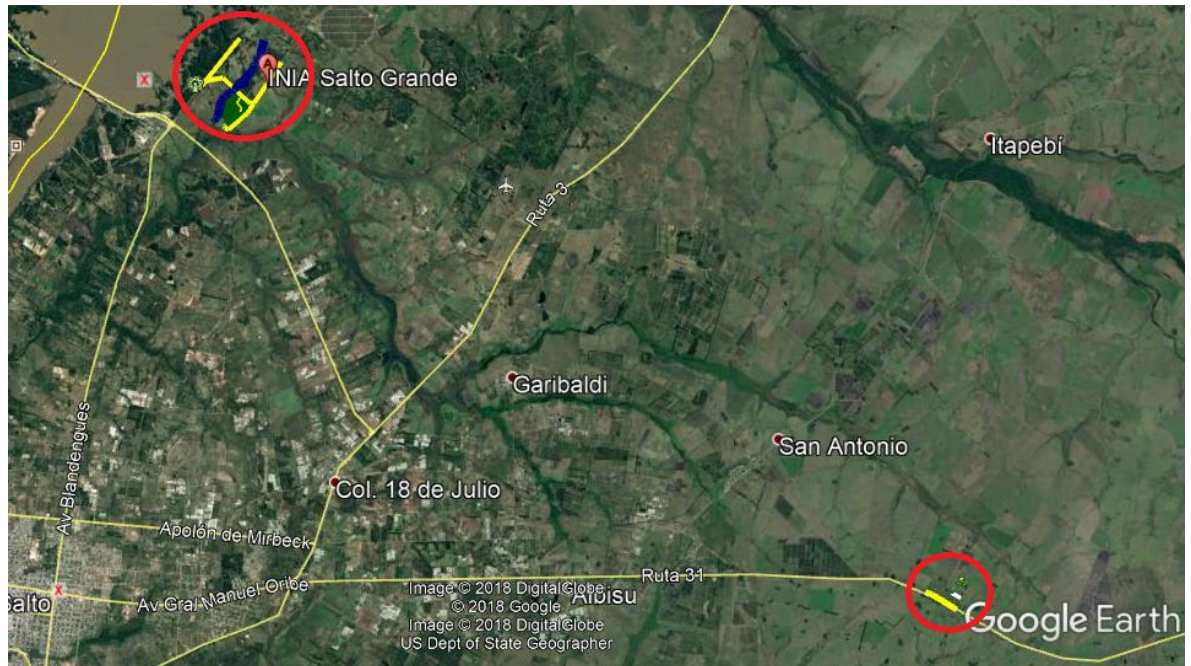
##### 3.1.1 Diseño Experimental

La población H5 (TBO x Briano), está instalada en el Jardín de Introducción de la Estación Experimental de Facultad de Agronomía Salto (EEFAS), Universidad de la República, próxima a la localidad de San Antonio, sobre el kilómetro 21,5 de la ruta 31 (Lat: 31° 19' S; Long 57° 41' O). La población H6 se encuentra instalada al norte de la capital del departamento de Salto, en la Estación Experimental INIA Salto Grande (INIA-SG), en el módulo de frutales nativos. (Lat: 31° 25' S; Long 57° 37' O) (Figura 1).

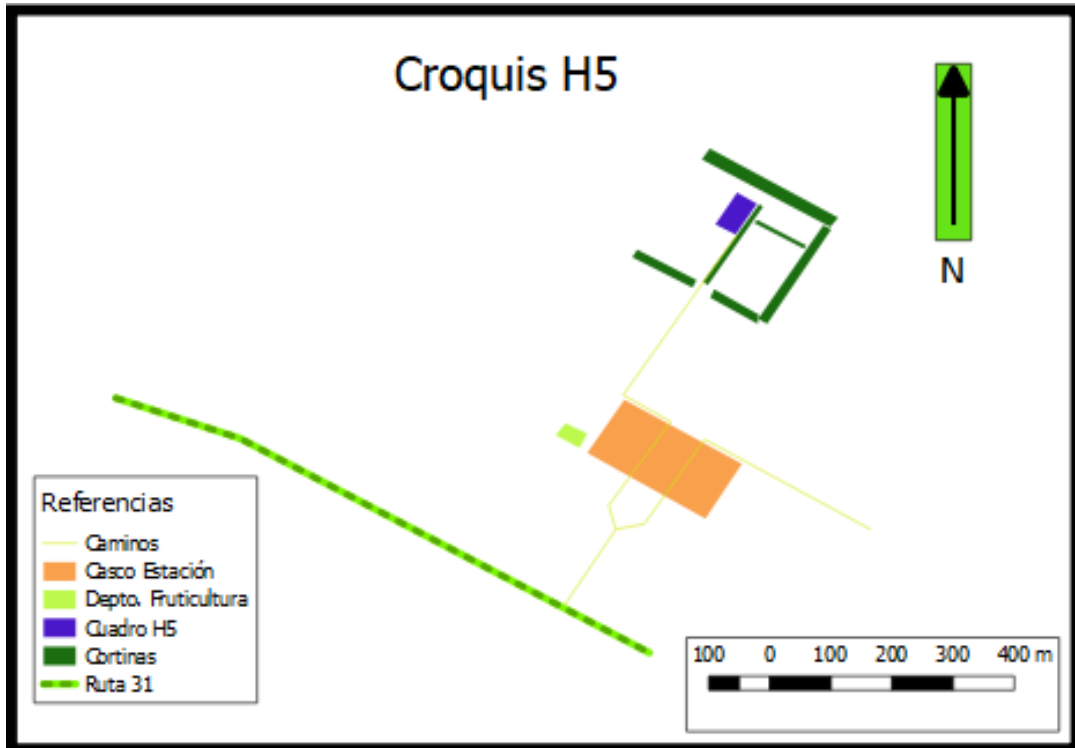
En ambas poblaciones el marco de plantación es 3,5 x 1,0 m, la orientación de las filas es SO-NE, con cortinas rompe vientos (Casuarinas). La población H5 está conformada por 10 filas, mientras que la población H6 presenta únicamente 4 filas. Cada material genético está representado por una única planta.

Las poblaciones se encuentran junto a otros ensayos de frutales (cítricos y nativos) (Figuras 2 y 3). Se realiza un manejo convencional de poda de formación y poda de mantenimiento en las plantas. Se realiza fertilización estacional en primavera y riego no sistematizado.



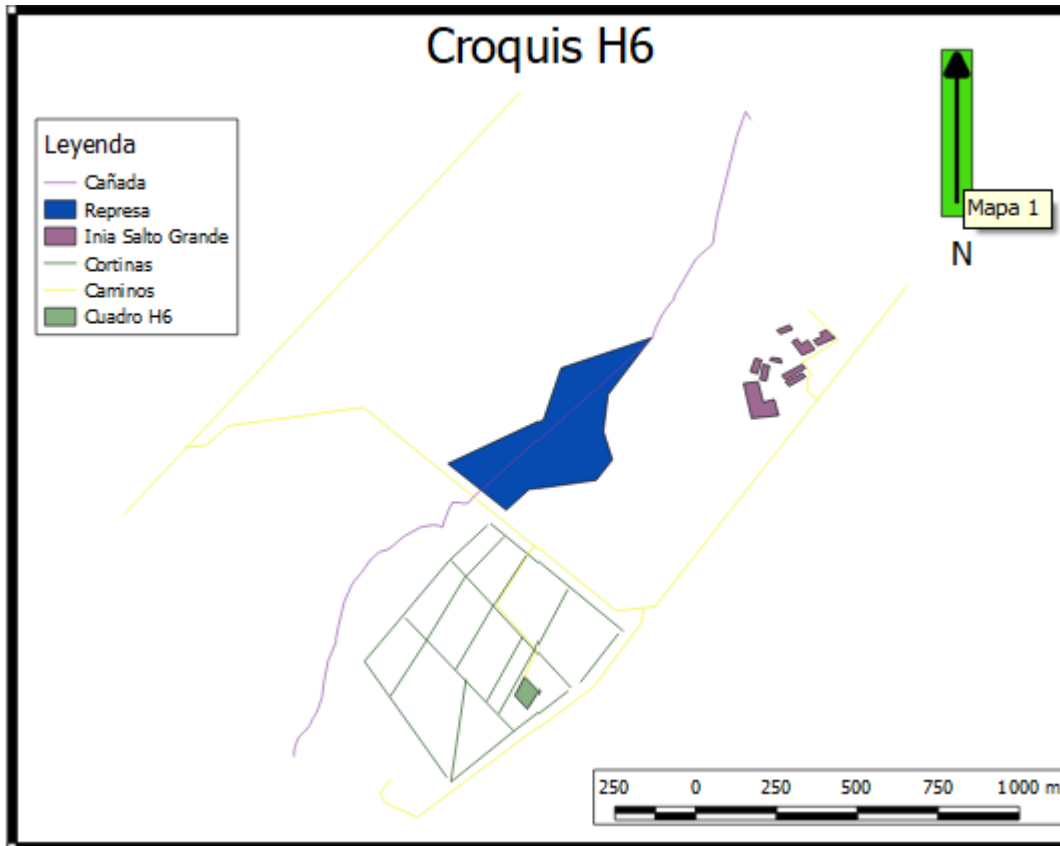


**Figura 1:** Ubicación de la Estación Experimental INIA Salto Grande (INIA-SG) y Estación Experimental Facultad de Agronomía Salto (EEFAS) (ambas indicadas con círculos rojos) en el Departamento de Salto, donde se encuentran las poblaciones H5 y H6, respectivamente. **Fuente:** Google Earth (2022). Coordenadas (Lat: 31o 19' S; Long 57o 41' O) y (Lat: 31o 25' S; Long 57o 37' O).



**Figura 2:** Croquis indicando la localización de la Población H5 dentro de la Estación Experimental Facultad de Agronomía Salto (EEFAS).





**Figura 3:** Croquis indicando la localización de la Población H6 dentro de la Estación Experimental INIA Salto Grande (INIA-SG).

### 3.2 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

La caracterización morfológica y de calidad de fruta para las poblaciones fue realizada durante tres años consecutivos en el 2015, 2016 y 2017. Para la población H5 fueron evaluadas 139 plantas en 2015 y 142 en 2016 y 2017. En el caso de la población H6, fueron analizados 182, 144 y 156 plantas en los años 2015, 2016 y 2017, respectivamente. Estas diferencias en el número total de plantas analizadas se explican por problemas sanitarios. Plantas que presentaban problemas sanitarios no fueron muestreadas.

Durante la época de cosecha (desde febrero hasta abril), se recorrieron los cuadros de ambas poblaciones con una frecuencia semanal para realizar el muestreo. Cada muestra consta de 15 frutos, de los cuales 10 frutos son utilizados para medir características morfológicas y fisicoquímicas, mientras que los cinco restantes se utilizaron para mediciones de color.

Es de fundamental importancia que los frutos colectados estén totalmente maduros, y en el mismo estado fisiológico. Por este motivo, los frutos fueron cosechados bajo la técnica de “touch picking” en estado M2 (Urraburu, 2017). En este estado, el fruto se desprende con un leve contacto o una sacudida de su planta, indicando que completó su ciclo de desarrollo y formó lo que se denomina capa de abscisión.

Fueron evaluadas 13 variables relacionadas a morfología (9) y a propiedades físico-químicas (4) de fruta de guayabo del país (Puppo et al., 2014). Además, se evaluó la fecha de floración. Para ello se siguió la metodología desarrollada por Puppo (2008), y las modificaciones incorporadas por Álvarez (2018) en un estudio previo de las poblaciones H5 y H6. Una descripción detallada de las variables analizadas, así como metodología empleada, se presenta en el Cuadro 1. En el caso de la medición de Fecha de Floración se utilizó una escala basada en Medición visual a plena floración (mitad de las flores están abiertas). Escala numérica desde plantas tempranas a tardías. No fue evaluada en 2015.

**Tabla 1:** Variables cuantitativas y cualitativas de fruto evaluadas en guayabo del país. Para cada variable se describe la unidad y la metodología utilizada.

Sigla	Variables Cuantitativas	Unidad	Metodología
AF	Altura de fruto	mm	Medido con calibre digital, desde base hasta el ápice
DF	Diámetro de fruto	mm	Medida del diámetro ecuatorial mayor, medido con calibre digital.
AD	Relación altura/diámetro		Cociente entre la altura y diámetro del fruto.
PF	Peso fruto	g	Medido en balanza de precisión
PP	Peso de pulpa	g	Medido en balanza de precisión
EC	Espesor de cáscara	mm	Medido con calibre digital
RC	Resistencia cáscara	Kg/cm <sup>2</sup>	Medido con Penetrómetro manual (punta de 8 mm). Fueron tomadas dos medidas por fruta.
SS	Sólidos solubles totales	° Brix	Medido con Refractómetro manual. Fueron tomadas dos medidas por fruta (Una única medida en 2015).
AT	Acidez titulable	g/ml	Medido como gramos de ácido cítrico en muestras de jugo de la fruta utilizando acidímetro digital. Fueron tomadas 4 muestras por

			genotipo en los años 2015 y 2017, y únicamente 2 muestras en el año 2016.
PS	Peso de 100 semillas	g	Medido en balanza de precisión. Se tomaron 3 datos por planta. No fue evaluada en 2015.
	Variables Cualitativas		
RG	Rugosidad de cáscara	escala	Evaluación visual. Escala: 1.Liso, 2.Algo rugoso, 3.rugoso y 4.Muy rugoso.
VO	Velocidad de oxidación	escala	Evaluación visual de la pulpa. Escala: 1.No se oxida, 2.Oxidación baja, 3.Oxidación media, 4. Oxidación alta.
FB	Forma de base	escala	Evaluación visual. Escala: 1.Convexo, 2.Truncado, 3.Agudo, 4.Cóncavo y 5. Con Cuello.

### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

#### 3.3.1 Ajuste de Modelo Lineal

Las poblaciones H5 y H6 fueron instaladas siguiendo un diseño completamente aleatorizado, sin repeticiones, donde cada planta representa a un genotipo único. Cada población fue analizada de forma separada y comparados los resultados entre poblaciones. La metodología del modelo lineal mixto fue aplicada para la obtención de las medias fenotípicas ajustadas y los componentes de varianza para cada variable morfológica.

El modelo estadístico utilizado:

$$y_{ij} = \mu + g_i + t_j + \varepsilon$$

siendo:

$y_{ij}$ : el vector de la variable fenotípica, para cada genotipo  $i$ , en cada año  $j$

$\mu$ : la media poblacional

$g_i$ : efecto aleatorio del genotipo  $i$ ,  $iidN(0, \sigma^2 g)^{\wedge}$

$t_j$ : efecto fijo del año  $j$ ;  $j = 1, 2, 3$

$\varepsilon$ : efecto aleatorio del error experimental,  $iidN(0, \sigma^2 e)^{\wedge}$

El modelo se ajustó usando el programa lm4 (Bates et al., 2015), dentro del programa estadístico R (R Core Team. 2013). A partir de las medias ajustadas fue realizado un análisis de correlación entre las variables morfológicas evaluadas. Para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson:

$$r = \text{cov}(x, y) / (\sqrt{\text{var}x \text{var}y})$$

siendo:

$\text{cov}(x,y)$ = covarianza entre las variables  $x$  e  $y$

$\text{var}x$  = varianza de la variable  $x$

$\text{var}y$  = varianza de la variable  $y$

Las correlaciones fueron estimadas y graficadas usando el programa Corrplot dentro del programa R.

A partir de los componentes de varianza genotípica y fenotípica, fue estimada la heredabilidad para cada carácter. La heredabilidad se define como la

proporción de la varianza fenotípica debido a la varianza genotípica. La misma fue estimada siguiendo la fórmula definida por Falconer y Mackay (1996):

$$h^2 = \frac{\sigma g}{\sigma g + \frac{\sigma e}{b}}$$

siendo  $\sigma g$  la varianza genética,  $\sigma e$  varianza ambiental, y siendo  $b$ , el número de evaluaciones de años.

### 3.3.2 Índices de selección

Con el objetivo de identificar los genotipos superiores en varios caracteres morfológicos simultáneamente para el programa de mejoramiento, para el programa de mejoramiento, fueron aplicados dos índices de selección. En los mismos se incluyeron las variables de frutos más relevantes dentro de los objetivos de mejora del programa<sup>3</sup>. Las variables utilizadas fueron PF, PP, EC, SS y AT todas con la misma ponderación.

La variable de Peso de pulpa fue considerada como la relación con Peso del fruto (PP/PF), correspondiente así con el rendimiento de pulpa. La variable Espesor de cáscara (EC) fue ponderada de forma negativa (-EC) acorde con el objetivo de selección de obtener materiales de cáscara fina. Los dos índices evaluados fueron:

#### i) Índice de suma de clasificación (IC)

Definido por Mulamba y Mock (1978), en éste índice se clasifican los individuos para cada carácter, asignándole la clasificación "1" al mejor individuo de cada carácter, "2" al segundo mejor individuo y así sucesivamente. De ese modo los individuos con numeración "1" son aquellos con mayores medias para los caracteres incluidos en el índice: PF, PP/PF, SS y AT; mientras que son los de menor valor para EC. El índice se calcula como la sumatoria de los números de clasificación, siguiendo la fórmula:

$$I_i = \sum n_{ij}$$

$I_i$  = Índice de clasificación para el genotipo  $i$ .

$n_{ij}$  = número de clasificación del carácter  $j$  para el genotipo  $i$ .

Los genotipos superiores son aquellos que presentan menores valores del índice.

---

<sup>3</sup> Cabrera, D. 2019. Com. Personal.

## ii) Índice multiplicativo (IM)

Se aplicó el índice de Elston (1963), donde se usan las medias ajustadas obtenidas de los análisis de varianza de los caracteres propuestos. Se compara el valor de cada genotipo con los valores máximos y mínimos obtenidos para cada carácter en esa población. Se calcula el índice aplicando la siguiente fórmula:

$$I_i = \prod (x_{ij} - k_j)$$

$I_i$  = Índice multiplicativo para el genotipo  $i$ .

$x_{ij}$  = es el valor fenotípico del carácter  $j$  para el genotipo  $i$ .

$k_j$  = es el menor valor seleccionable estimado como:

$$k_j = ((n * \text{Mín})_j - \text{Máx}_j) / n - 1$$

siendo:

$n$  = el número total de individuos en la población.

$\text{Mín}$  = es el valor mínimo en la población para el carácter  $j$

$\text{Máx}$  = es el valor máximo en la población para el carácter  $j$

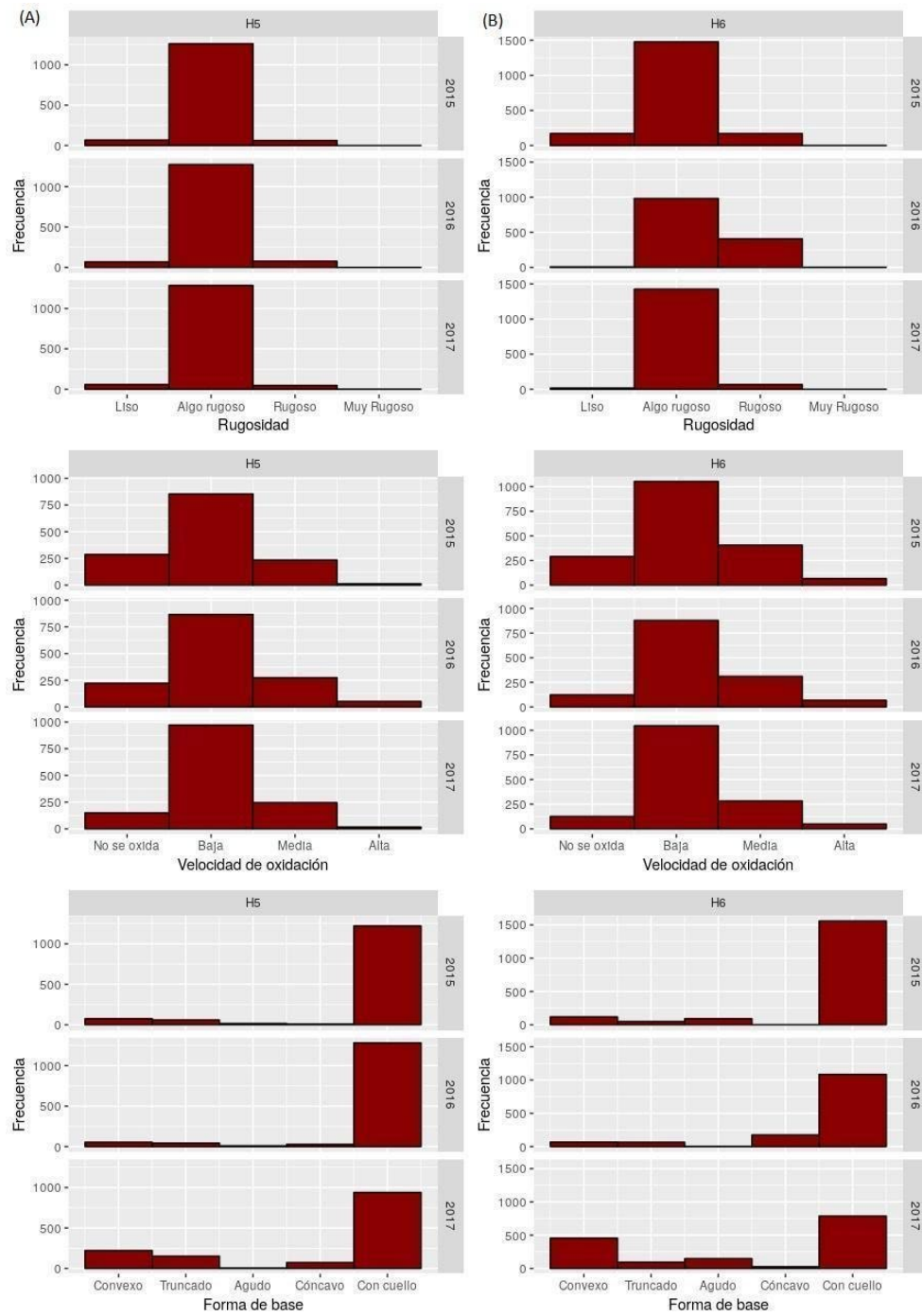
Los individuos superiores son los que presentan mayor valor del índice.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. VARIABLES EVALUADAS

En este trabajo fueron evaluadas 13 variables de fruta y fecha de floración en las poblaciones de hermanos completos (F<sub>1</sub>) de guayabo H5 y H6 durante 3 años consecutivos (2015, 2016, 2017), con excepción de las variables Fecha de floración (FF) y Peso de 100 semillas (PS) las cuales sólo fueron evaluadas durante 2 años (2016 y 2017). Estudios previos en guayabo demostraron la necesidad de contar con un mínimo de tres años de evaluaciones continuas para minimizar los efectos de año (Santos, 2005) y tener estimaciones confiables. Por este motivo en este trabajo no serán analizadas las variables FF y PS. Adicionalmente, la variable Resistencia de cáscara (RC) también fue descartada de los análisis, por observarse problemas en la realización de las mediciones (interferencia de usuario).

Las características cualitativas Rugosidad de cáscara (RG), Velocidad de oxidación (VO) y Forma de base (FB) presentaron un bajo nivel de segregación dentro, y entre las poblaciones, concordante entre los tres años de evaluación (Figura 4). Para ambas poblaciones la categoría predominante de rugosidad fue “algo rugoso”, representando el 90,9% para H5 y 82,2% para H6 del total de los datos. La Forma de base predominante fue la categoría “con cuello”, representando el 82,2 % del total de datos en la población H5 y 72,5% en la población H6. La categoría velocidad de oxidación baja fue la más representada, con un 64,2% y 63,3% de los datos en las poblaciones H5 y H6, respectivamente.



**Figura 4:** Histograma de variables cualitativas Rugosidad de cáscara (RG), Velocidad de oxidación (VO) y Forma de base (FB) en la población H5 (A) y población H6 (B).



Comparando con los fenotipos parentales (Cuadro 2) podemos observar que la rugosidad presentó en ambas poblaciones un valor intermedio a los observados en los padres. Igualmente, fueron encontrados pocos genotipos en la categoría extrema de piel lisa, como el progenitor femenino TBO. Para la variable velocidad de oxidación, las poblaciones presentaron un nivel de oxidación bajo, al igual que los progenitores TBO y Briano. Es importante considerar que, aunque en bajo número, fueron identificados individuos con fenotipos extremos (sin oxidación y oxidación alta), por rango fuera de los materiales parentales. Finalmente, para la variable de Forma de base los tres progenitores presentaban diferente forma. A pesar de encontrarse las cinco formas descritas en las poblaciones H5 y H6, la forma “con cuello”, fue la preponderante, igual al progenitor femenino de ambas poblaciones TBO.

**Tabla 2:** Caracterización de los progenitores TBO 85-04, Briano y Delpiano para las características cualitativas Rugosidad de cáscara (RG), Velocidad de oxidación (VO) y Forma de base (FB).

Variable	Progenitor		
	TBO 85-04	Briano	Delpiano
RG	Liso	Algo rugoso/Muy rugoso	Algo rugoso
VO	Oxidación baja	Oxidación media	Oxidación baja
FB	Con cuello	Cóncavo	Truncado

Comparando estas tres características, con el trabajo en poblaciones silvestres en Uruguay de Puppo (2008) se observaron marcadas diferencias en dos de ellas. En primer lugar, la forma de la base de los frutos en las poblaciones silvestres fue en su mayoría de forma convexa, y siendo la clase “con cuello” representativa de las poblaciones H5 y H6, de baja frecuencia (menor al 1%) en las cuatro poblaciones silvestres caracterizadas. Otra diferencia es la velocidad de oxidación, que en las poblaciones silvestres la clase “rápida” representó más del 60% de los casos; mientras que en este trabajo sobresale por encima de ese porcentaje tanto en la población H5 como en H6 la categoría “baja” velocidad de oxidación. En cuanto a la rugosidad de cáscara, de forma similar en ambos tipos de poblaciones, la categoría algo rugosa está presente en mayor proporción. Sin embargo, esta variable que fue de utilidad para diferenciar entre individuos de las poblaciones silvestres, no resultó de utilidad para nuestras poblaciones de mejoramiento. Si bien en el pionero trabajo de Puppo (2008) se evaluaron poblaciones silvestres, y en el presente trabajo poblaciones de hermanos enteros obtenidos a partir de padres seleccionados,

nos permiten comparar evaluaciones fenotípicas de poblaciones de Guayabo realizadas para materiales del Tipo Uruguay.

#### 4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Del total de 14 variables morfológicas evaluadas a campo, 8 presentaron un conjunto de datos completos, de buena calidad y variables dentro de las poblaciones, por lo que fueron analizadas en este trabajo. Para estas variables, las poblaciones H5 y H6 fueron comparadas por medio de estadísticos descriptivos para cada población, como ser la media, varianza y rango para cada variable en los 3 años de evaluación (Cuadro 3). Para todas las variables evaluadas, los valores promedio fueron similares entre ambas poblaciones. Los menores valores en H5 fueron para las medias de las variables DF, PF, EC y AT; mientras que para H6 se observaron en AF, AD, PP y SS.

**Tabla 3:** Valores de media, rango (mínimo y máximo) y desvíos estándar ( $\sigma$ ) de las variables Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (AD), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS) y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6 (promedio de los años 2015, 2016 y 2017).

Variable	Población H5				Población H6			
	Mínimo	Media	Máximo	$\sigma$	Mínimo	Media	Máximo	$\sigma$
AF(mm)	43,78	48,62	56,39	3,16	42,07	48,12	54,58	3,16
DF(mm)	32,02	34,52	37,45	1,43	31,31	35,46	39,38	1,84
AD (AF/DF)	1,24	1,42	1,62	0,08	1,17	1,36	1,55	0,08
PF(g)	25,96	31,07	42,24	4,04	23,63	31,81	44,05	4,65
PP(g)	12,08	14,78	20,07	2,08	10,40	14,66	20,14	2,32
EC(mm)	3,02	3,28	3,95	0,23	3,13	3,47	3,89	0,25
SS (°brix)	11,45	12,38	13,74	0,67	11,51	12,11	13,05	0,51
AT (g/ml)	0,73	0,91	1,21	0,15	0,89	1,04	1,54	0,16

Una de las variables estudiadas más relevantes para la producción es el peso de fruto (PF), siendo esperado por el mercado frutos de mayor peso y tamaño. Tanto la media, como el máximo de peso de fruto, fue similar en las poblaciones H5 y H6, con valores de media de 31,07 y 31,81 g y máximos de 42,24 g y 44,05 g (H5 y H6 respectivamente). Estos valores fueron menores a los reportados para los cultivares más ampliamente utilizados provenientes de Nueva Zelanda que registran valores de peso de fruto entre 40 g, cultivar Unique hasta 75 g para el cultivar “Kakariki® (Rodríguez et al., 2021), valores que surgen de la evaluación de estos materiales introducidos en Uruguay, en la estación INIA Las Brujas. Los cultivares seleccionados y desarrollados en Uruguay presentaron un comportamiento en peso medio de 70 g, 60 g y 60 g, para los cultivares INIA Fagro Cerrillana, INIA Fagro Artillera e INIA Fagro Isleña respectivamente<sup>1</sup>. Los cultivares desarrollados en Brasil sobresalen en tamaño respecto de los de Uruguay, por ejemplo, el cv. Alcántara presenta una media<sup>4</sup> de peso de fruto de 85 g (Ducroquet et al., 2007). Esto se corresponde con la media de 80,8 g obtenida para las 229 accesiones evaluadas en el Banco de Germoplasma de San Joaquín, donde se reportaron frutas que alcanzaron valores máximos de 183 g (Sánchez-Mora et al., 2019). Es importante considerar que ninguno de estos materiales ha sido evaluado en las condiciones de cultivo en Uruguay. Finalmente, las medias de peso de las poblaciones H5 y H6 fueron muy superiores a las reportadas por Puppo (2008) para poblaciones silvestres con una media de 10,1 g. Esto era esperable, porque no son poblaciones mejoradas ni tienen manejo productivo, como sí ocurre con las poblaciones H5 y H6 originadas de padres seleccionados y mantenidas en condiciones controladas (riego, manejo de plagas, fertilización) en las estaciones experimentales.

Para su uso industrial o incluso para consumo en fresco, es útil conocer el rendimiento de la pulpa del fruto respecto del total del peso del fruto (% de pulpa). Para las poblaciones H5 y H6, tomando en cuenta la media poblacional en el período evaluado, el peso medio de pulpa fue 14,45 g y 14,66 g, resultando en rendimientos de pulpa (%) de 47,57 y de 46,08, respectivamente. Si se compara con el criterio de selección establecido en el trabajo de Sánchez-Mora et al, 2019, el cual busca frutos con % de pulpa mayores a 30, denota un buen nivel en H5 y H6 respecto de ese valor. Nuestros resultados son fácilmente comparables, teniendo en cuenta de que el trabajo de estos autores se enmarca en accesiones tipo Brasil instaladas en el campo experimental de San Joaquín (Brasil) las cuales se encuentran geográficamente en la zona de distribución natural de *Acca sellowiana*. En nuestro caso las accesiones evaluadas son del tipo Uruguay, también

---

<sup>4</sup> Cabrera, D. 2022. Com. personal.

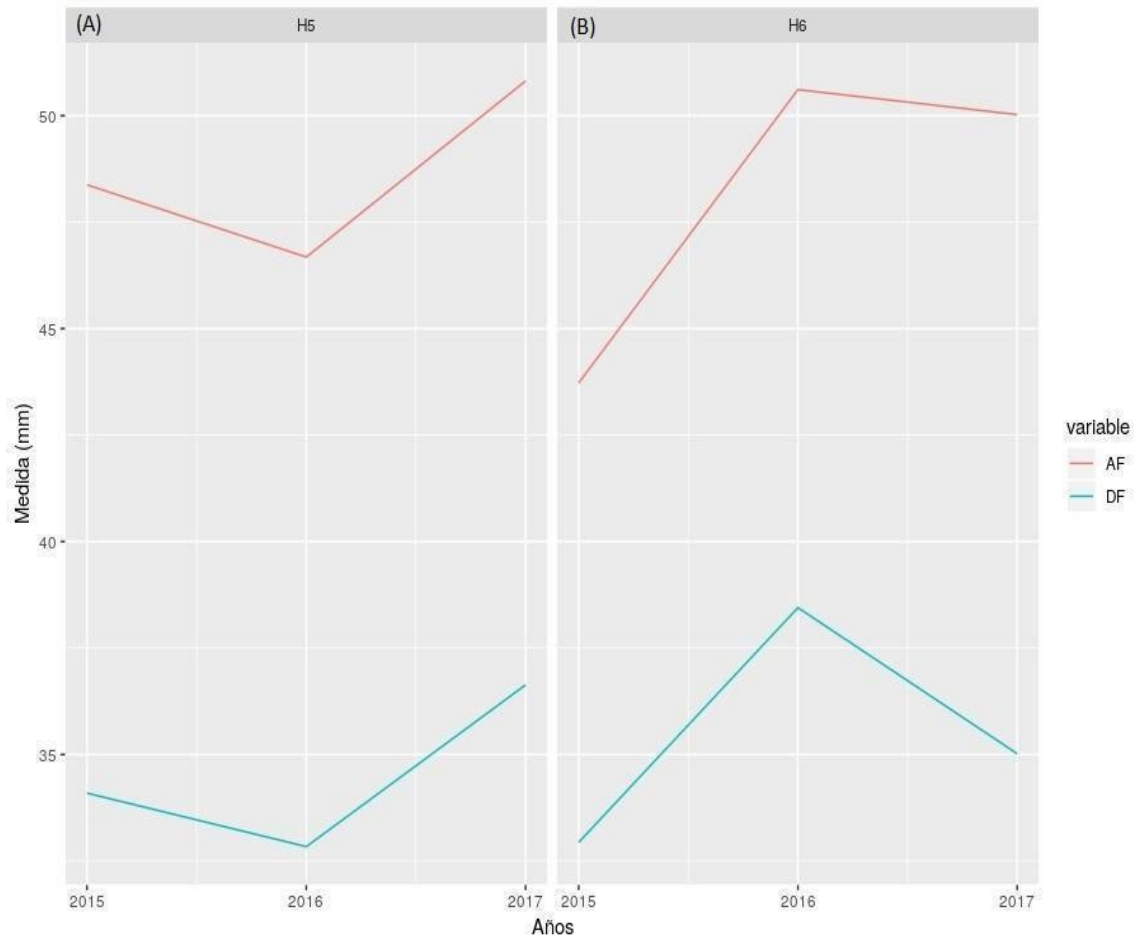
instaladas en la zona de distribución natural de la especie, y en condiciones experimentales (riego, manejos culturales, poda, etc.).

Se comparó el comportamiento de las poblaciones en los diferentes años, por medio de los valores de media de cada variable (Cuadro 4). Considerando todas las variables, los menores valores de media se registraron en el año 2016 para H5 y en 2015 para H6. Las variables de forma (AF y DF) así como las variables de peso (PP y PF) presentaron mayores valores de media en el año 2017 para población H5 y en el año 2016 en la población H6. La variable AD alcanzó el valor máximo (1,43) en el año 2015 y 2016 en H5 y en el año 2017 en H6. La variable EC presentó valores mayores de media en los años 2017 y 2016 para las poblaciones H5 y H6, respectivamente. Las variables asociadas a sabor de fruto (SS y AT), presentaron el mismo patrón anual en ambas poblaciones. Los mayores valores de SS se obtuvieron en 2015 mientras que AT fue en 2017.

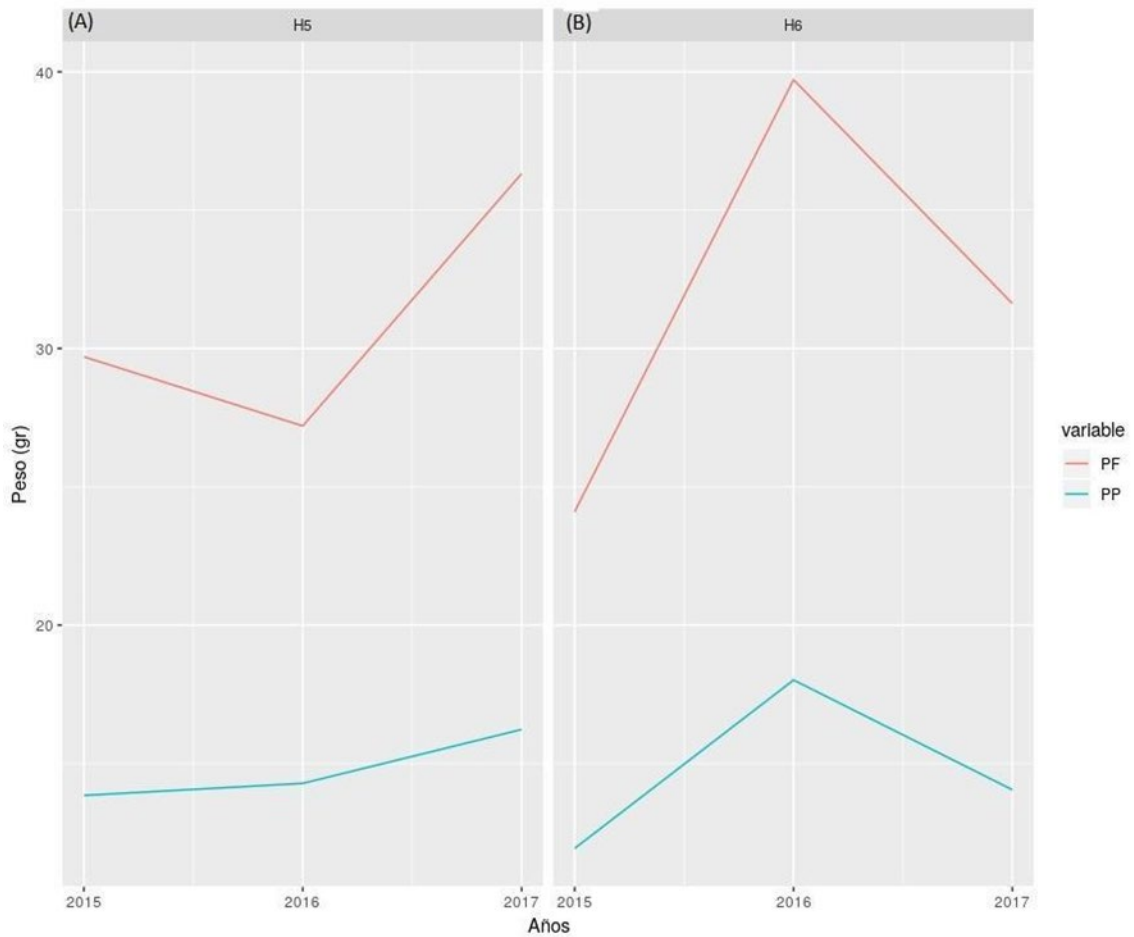
**Tabla 4:** Valores de medias para cada año de evaluación de las variables analizadas: Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (DF), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS), y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6.

Población H5								
Año	AF(mm)	DF (mm)	AD <sub>(AF/DF)</sub>	PF(g)	PP(g)	EC(mm)	SS(°Brix)	AT(g/ml)
2015	48,37	34,09	1,43	29,70	13,84	3,35	14,38	0,76
2016	46,68	32,84	1,43	27,20	14,28	2,80	10,66	0,94
2017	50,81	36,64	1,39	36,32	16,23	3,69	12,09	1,02
Población H6								
Año	AF(mm)	DF (mm)	AD <sub>(AF/DF)</sub>	PF(g)	PP(g)	EC(mm)	SS(°Brix)	AT(g/ml)
2015	43,72	32,94	1,34	24,10	11,93	2,93	13,20	0,74
2016	50,61	38,45	1,32	39,71	18,01	3,85	11,64	1,08
2017	50,02	35,02	1,43	31,62	14,04	3,64	11,50	1,31

El comportamiento de las principales variables relevantes al tamaño y peso de fruto durante los tres años de evaluación se muestran en las Figuras 5 y 6. Las variables AF y DF mostraron el mismo patrón que las variables PF y PP. Sin embargo, existe un comportamiento diferencial entre las poblaciones H5 y H6. En el año 2016 hubo una disminución del tamaño y peso del fruto en la población H5, mientras que resultó el mejor año (mayor peso y tamaño), en la población H6. Esto se podría explicar por posibles efectos ambientales, como por ejemplo un posible efecto de las precipitaciones a nivel local (cantidad e incidencia), independientemente de la influencia del riego suministrado en cada estación experimental. Esto considerando que la disponibilidad de agua (suministro adecuado y regular) es fundamental para el desarrollo fisiológico del guayabo, específicamente para el desarrollo vegetativo (Peña y Cabezas, 2014) y en el desarrollo de los frutos, incluso con mayor efecto que la fertilización nitrogenada (Tocornal, 1988). Adicionalmente, es importante considerar que se tratan de dos cruzamientos distintos en ambas estaciones experimentales, por lo tanto, genéticamente, puede haberse expresado también una respuesta diferencial entre los genotipos a los efectos ambientales, marcando las diferencias observadas.



**Figura 5:** Medias de las variables tamaño de fruto: Altura de fruto (AF) y Diámetro de fruto (DF) en los 3 años evaluados, para la población H5 (A) y la población H6 (B).



**Figura 6:** Medias de las variables tamaño de fruto: Peso de fruto (PF) y Peso de pulpa (PP), en los 3 años evaluados, para la población H5 (A) y la población H6 (B).

La marcada variabilidad observada por año para todas las variables, remarca la importancia de evaluar los materiales en años consecutivos para lograr tener una buena estimación de sus fenotipos. Además, la importancia de poder evaluar los mismos materiales en diferentes ambientes a fin de cuantificar la interacción del genotipo con el ambiente para las diferentes variables morfológicas. En guayabo del país, las evaluaciones en años consecutivos son escasas, presentando el estudio de Degenhardt et al. (2003) el estudio de familias de medios hermanos instalados en un predio comercial. La evaluación de características de frutos (peso de fruto, rendimiento de pulpa, largo, diámetro, relación altura diámetro y sólidos solubles totales) desde el 1998 al 2000 demostraron la importancia del efecto año para estas variables, indicando una fuerte influencia ambiental. Un estudio más reciente de Sánchez-Mora et

al. (2019) reporta evaluaciones de caracteres de fruta de Guayabo durante 7 años, comenzando en 2004 y culminando en 2017, aunque no todos fueron consecutivos. Este trabajo demostró que la variabilidad dada por el efecto año siempre estuvo presente y fue el más relevante, para variables morfológicas de calidad de fruto; diámetro de fruto, rendimiento de pulpa, peso, grosor de cáscara y sólidos solubles totales. Pero a diferencia de nuestro estudio, la única característica que no tuvo efecto año fue longitud de fruto, lo que permitiría seleccionar de acuerdo a la misma, indistintamente del año.

#### 4.3 HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES

La estimación de valores de heredabilidad es fundamental para un programa de mejoramiento, dado que expresan la proporción de la variabilidad fenotípica observada que es explicada por la variabilidad genética entre los individuos de la población en estudio, en ese sentido se ve aumentada la confiabilidad en la selección (Falconer y Mackay, 1996). A partir de los componentes de varianza estimados empleando modelos univariados se estimó la heredabilidad para cada carácter en cada población. Para las ocho variables estudiadas, los valores de heredabilidad variaron entre 0,40 (EC) y 0,78 (AD) en la población H5; mientras que en la población H6 variaron entre 0,29 (SS) y 0,75 (AD) (Cuadro 5). Estos valores pueden ser considerados altos o moderados para todas las variables. Las variables AD y AF presentaron los valores de heredabilidad mayores, mientras que para EC fueron los más bajos (0,40 y 0,39 para H5 y H6, respectivamente).

Para todas las características evaluadas, los valores de heredabilidad fueron muy similares entre ambas poblaciones, con excepción de la variable SS. Para esta variable fue estimado un valor de heredabilidad de 0,54 en la población H5, mientras que un valor llamativamente inferior de 0,29 fue estimado para H6.



**Tabla 5:** Heredabilidades para las variables: Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (AD), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS), y Acidez titulable (AT) en las poblaciones H5 y H6, estimadas a partir de datos de tres años de evaluación.

Variable	Población H5			Población H6		
	h <sup>2</sup>	Var.G	Var.Resid	h <sup>2</sup>	Var.G	Var.Resid.
AF	0,64	10,01	18,70	0,61	10,01	18,70
DF	0,43	2,05	8,30	0,54	3,39	8,29
AD	0,78	0,01	0,01	0,75	0,01	0,01
PF	0,51	16,21	46,60	0,53	21,65	56,98
PP	0,52	4,25	12,05	0,54	5,36	13,84
EC	0,40	0,05	0,23	0,39	0,06	0,33
SS	0,54	0,48	1,19	0,29	0,26	1,83
AT	0,54	0,02	0,05	0,51	0,02	0,07

En nuestro trabajo se obtienen valores de 0,51-0,53, 0,78-0,75 y 0,54-0,51, para las características PF, AD y AT, respectivamente, valores que fueron inferiores a los reportados por Santos (2005), de 0,58, 0,86 y 0,62 para las mismas características. En el caso de SS, el valor de heredabilidad de reportado por Santos (2005) fue de 0,20 cercano al valor encontrado en este trabajo para la población H6, pero discrepante con el valor obtenido para H5. Para características de fruto, en *Psidium guajava*, Pérez Pelea et al. (2018) mostró resultados similares al obtenido en este trabajo en el largo de fruto (0,53), y fue moderado-alto en el diámetro de fruto (0,38). La obtención de valores altos-moderados para estas variables de interés productivo, es destacable ya que al seleccionar plantas directamente a través ellas, se puede tener un rápido avance en un proceso de mejoramiento genético.

Las correlaciones entre todas las variables estudiadas de a pares fueron estimadas a partir de las medias fenotípicas ajustadas (promedio de tres años

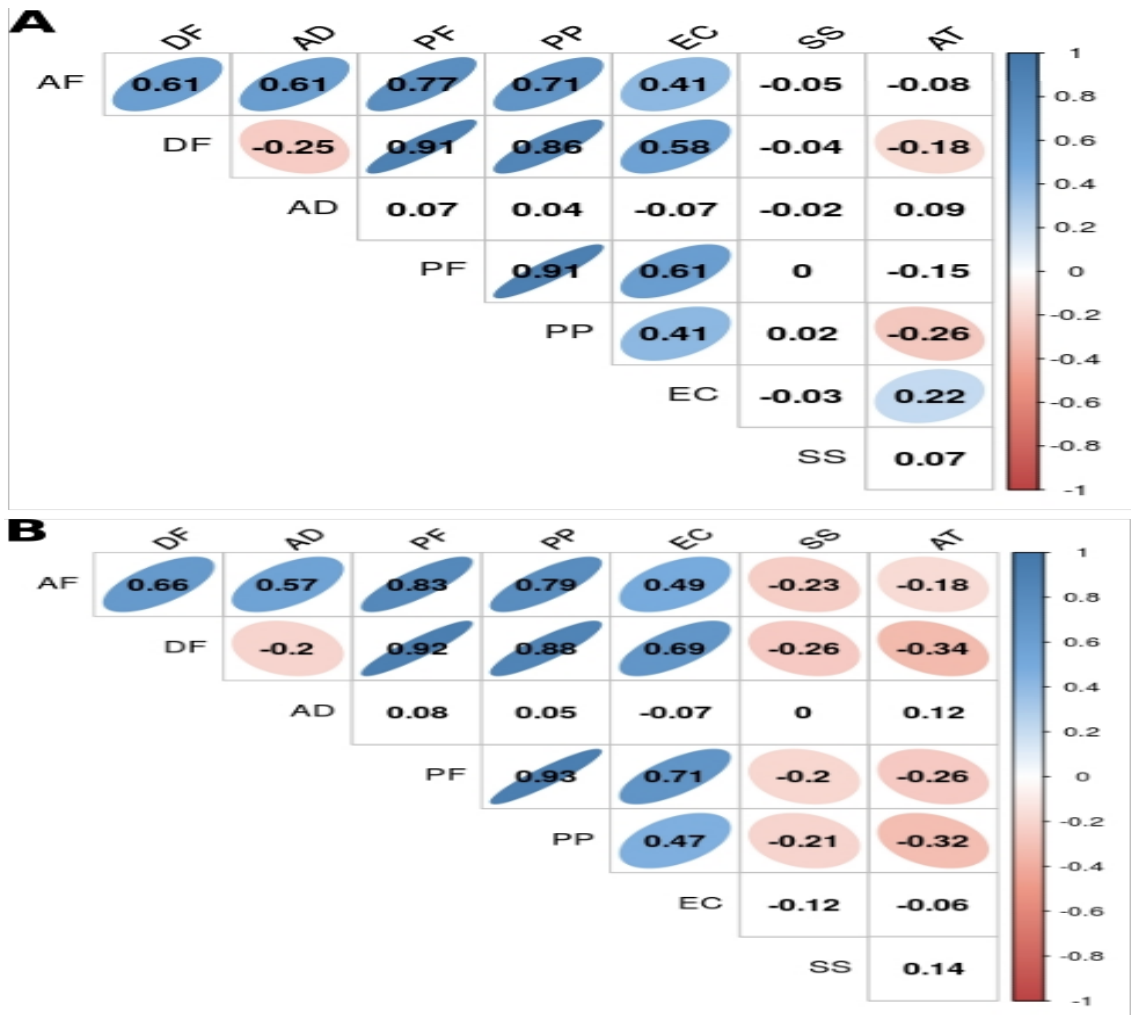
de evaluación), de forma independiente para cada población (Figura 7 A y B). Las estimaciones de correlaciones entre variables nos permiten entender la magnitud y sentido de las relaciones entre las variables, de forma aplicada en el mejoramiento desarrollar por ejemplo estrategias de selección indirecta. En las poblaciones H5 y H6 se observó el mismo patrón de correlaciones; siendo las más relevantes las altas correlaciones positivas entre las variables morfológicas de tamaño de fruta (AF y DF) y peso (PF y PP). Igualmente, la variable Espesor de cáscara (EC) también mostró correlaciones significativas y positivas con estas variables. En ambas poblaciones, la variable Relación altura-diámetro (AD) presentó una correlación negativa con Diámetro de Fruto (DF) y una correlación positiva con la variable Altura de Fruto (AF), en ambas poblaciones, no existiendo correlación significativa con el resto de las variables.

Como era esperado, las variables de tamaño (AF y DF) presentaron correlaciones positivas con las variables de peso de fruto (PF y PF). Las correlaciones entre variables de tamaño mostraron que cuanto mayor sea el peso del fruto, mayor será el peso de la cáscara, y así el largo y diámetro del fruto. Este resultado está en concordancia con reportes previos para guayabo del país, donde correlaciones altas y de efecto significativo son obtenidas para variables de tamaño de fruto (Sánchez-Mora et al., 2019). Adicionalmente, coeficientes de correlaciones moderadas a fuertes fueron descritos para diámetro y largo de fruto (0,83), diámetro y peso de fruto (0,96) y diámetro y peso de pulpa (0,89), (Donazzolo et al., 2017). En concordancia con nuestro trabajo, una alta correlación fue encontrada entre espesor de cáscara y las variables de tamaño de fruto, variando entre 0,50 y 0,77 (Donazzolo et al., 2017). El alto nivel de correlación positiva obtenido entre características de tamaño (dimensiones) y peso, es coincidente con las conclusiones de Álvarez (2018), quien recomienda en consecuencia disminuir el número de caracteres cuantitativos evaluados para la selección de genotipos superiores (de mayor tamaño).

Las variables SS y AT presentaron comportamiento diferente entre la población H5 y H6. La variable SS no mostró correlaciones significativas con ninguna de las demás variables en la población H5; pero si lo hizo en H6, donde se encontraron correlaciones negativas significativas con las variables AF, DF, PF y PP. Por otro lado, la variable AT presentó correlaciones negativas significativas con las variables DF y PP en ambas poblaciones, negativa significativa con AF y PF únicamente en H6 y positiva significativa con la variable EC únicamente en H5. En conclusión, no fue posible determinar un patrón de correlación entre las variables físicas (tamaño y peso) con las asociadas al sabor del fruto (SS y AT) consistente entre ambas poblaciones.

Este comportamiento errático del comportamiento de la variable SS con el resto de las variables fenotípicas, podría estar indicando el efecto de otros factores

no genéticos, y ya ha sido reportado en guayabo (Degenhardt et al., 2003). Los coeficientes de correlación de SS con otras variables fenotípicas (peso de fruto, peso de pulpa, largo y diámetro de fruto) reportados por Degenhardt et al. (2003) variaron entre positivos y negativos entre familias y años, indicando el fuerte efecto del ambiente.



**Figura 7:** Gráfico de correlaciones entre variables Altura de fruto (AF), Diámetro de fruto (DF), Relación altura-diámetro (AD), Peso de fruto (PF), Peso de pulpa (PP), Espesor de cáscara (EC), Sólidos solubles totales (SS) y Acidez titulable (AT) para las poblaciones H5 (A) y H6 (B), en promedio de los tres años evaluados. Se destacan las más altas en tonos azules (correlación positiva), en tonos rojos (correlación negativa) y en color blanco, las que no fueron significativas ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 ÍNDICES DE SELECCIÓN

La selección de genotipos superiores considerando de forma simultánea diferentes caracteres morfológicos resulta fundamental en el mejoramiento genético. El uso de índices de selección permite lograr este objetivo, considerando de forma conjunta variables relevantes para el mejorador, así como para los consumidores finales. Mientras los índices de selección han sido evaluados y empleados en mejoramiento genético de frutales (Vieira et al., 2017), sin embargo, aún no ha sido reportada su aplicación para el guayabo del país.

A partir de las medias fenotípicas ajustadas para cada variable, fueron aplicados dos índices de selección de forma independiente en las poblaciones H5 y H6. Para la construcción de los índices fueron utilizados únicamente las variables de peso (PP y PF), sabor (SS y AT) y Espesor de cáscara (EC). El índice pondera las variables de peso y sabor en forma positiva y la variable EC de forma negativa (en acuerdo con el objetivo de mejoramiento de reducción de espesor de cáscara).

Empleando el índice de clasificación (IC) de Mulamba y Mock (1978) y el índice multiplicativo (IM) de Elston (1963) fueron identificados como genotipos superiores el 10% de los materiales mejor posicionados según el ranking (posiciones 1 al 14 en H5 y 1 al 17 en H6). El listado de genotipos superiores y su valor medio para cada una de las variables analizadas para cada índice se pueden observar en la sección Anexos (Cuadro A1 y Cuadro A2).

Ambos índices presentan la ventaja de su fácil estimación y aplicación, no siendo necesaria la estimación de parámetros genéticos o correlación entre las variables de forma previa. Adicionalmente, tampoco requieren la estimación de pesos económicos, en muchos casos difíciles de estimar, como es en el caso del Guayabo del País. Por estos motivos han sido aplicados ampliamente en el mejoramiento genético, además de permitir al mejorador visualizar de forma directa, los efectos favorables de las diferentes variables en los materiales seleccionados (Costa et al., 2020, Lessa et al., 2010).

Para cada población, se observó una alta correlación en las posiciones de ranking entre los dos índices evaluados, con valores de 0,79 (H5) y 0,81 (H6). Esto puede explicarse dado que ambos índices emplearon las mismas variables con igual peso como características prioritarias. Esta alta correlación ya había sido observada en trabajos de mejoramiento en banana híbrida diploide, siendo que esta confirmación de tendencias de resultados ayuda en la toma de decisiones por parte del mejorador (Lessa et al., 2010). Adicionalmente se identificaron 8 individuos en la población H5 y 11 en la población H6 que fueron seleccionados por ambos índices (Cuadro 6 y 7).

Estos materiales seleccionados por ambos índices son considerados los más destacados de ambas poblaciones.

**Tabla 6:** Lista de individuos seleccionados por los índices de clasificación (IC) e índice multiplicativo (IM) en la población H5 y sus medias fenotípicas para 8 caracteres de fruta.

Individuo	AF	DF	AD	PF	PP	EC	SS	AT
H5_056 (9;8) <sup>1</sup>	49,54	35,72	1,37	33,43	16,17	3,42	12,35	1,01
H5_086 (3;7)	48,35	35,59	1,33	33,50	16,40	3,25	12,48	0,94
H5_112 (12;9)	51,87	35,96	1,42	35,87	17,59	3,41	12,93	0,85
H5_116 (8;2)	49,26	34,57	1,43	31,66	15,51	3,26	12,38	1,14
H5_139 (2;1)	51,43	36,48	1,35	38,19	19,21	3,41	13,18	0,90
H5_145 (4;5)	47,39	34,26	1,39	30,39	14,76	3,20	13,55	0,90
H5_154 (10;10)	48,46	35,6	1,33	32,79	15,05	3,42	13,37	0,98
H5_174 (5;12)	51,46	34,38	1,53	31,16	15,4	3,09	12,84	0,86

(<sup>1</sup>) Entre paréntesis se muestra el ranking asignado por los índices IC e IM, respectivamente.

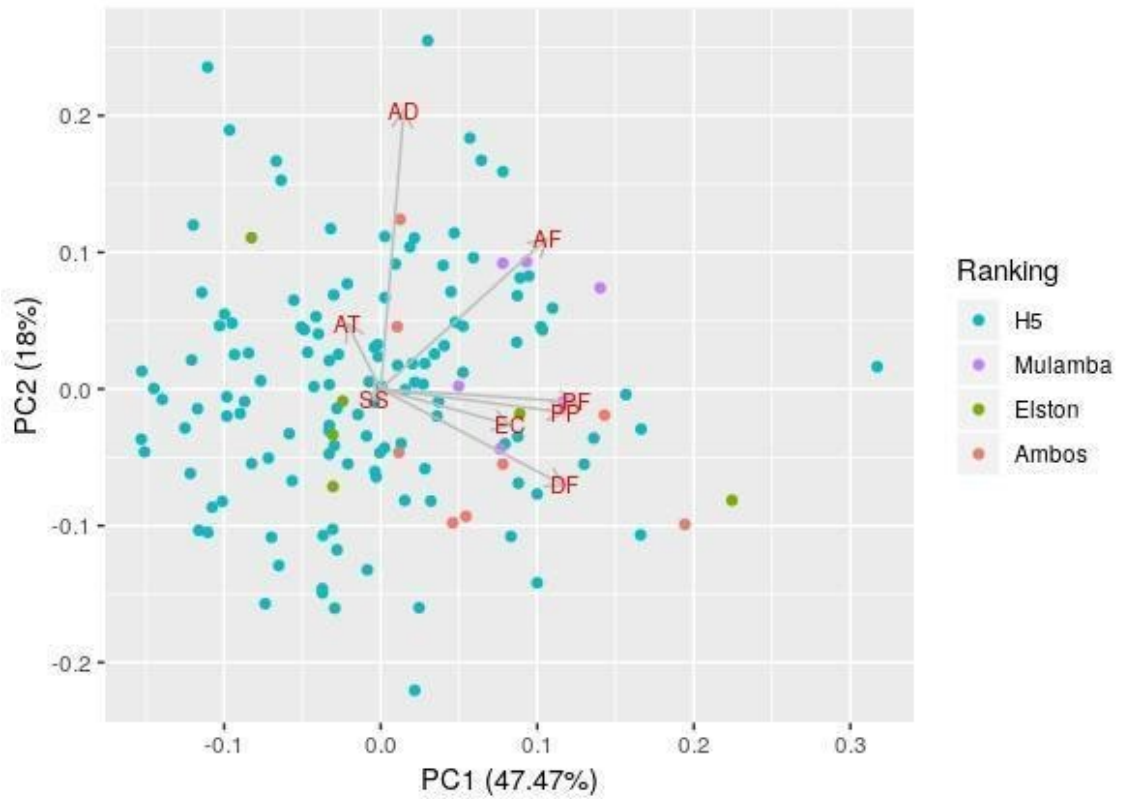
**Tabla 7:** Lista de individuos seleccionados por los índices de clasificación (IC) e índice multiplicativo (IM) en la población H6 y sus medias fenotípicas para 11 caracteres de fruta.

Individuo	AF	DF	AD	PF	PP	EC	SS	AT
H6_042 (4;5) <sup>1</sup>	48,65	36,08	1,34	33,49	16,43	3,37	12,32	1,03
H6_045 (16;15)	45,79	36,08	1,25	31,77	14,95	3,42	12,22	1,10
H6_081 (10;3)	49,96	35,11	1,44	31,99	14,84	3,48	12,33	1,29
H6_100 (2;2)	49,33	36,12	1,37	33,42	16,39	3,46	12,22	1,26
H6_112 (5;7)	50,05	36,30	1,41	33,90	16,63	3,36	12,28	1,01
H6_122 (12;12)	50,83	35,06	1,48	32,10	15,81	3,29	12,11	1,02
H6_152 (1;1)	51,83	36,65	1,42	35,76	18,91	3,27	12,36	1,01
H6_185 (3;14)	51,51	37,26	1,38	36,93	16,30	3,59	12,56	1,15
H6_219 (6;6)	48,25	36,60	1,31	34,37	16,10	3,55	12,51	1,11
H6_228 (7;8)	50,37	36,69	1,38	35,40	16,40	3,60	12,78	1,06
H6_245 (9;11)	52,16	35,95	1,44	35,26	16,67	3,58	12,46	1,06

<sup>1</sup> Entre paréntesis se muestra el ranking asignado por los índices IC e IM, respectivamente.

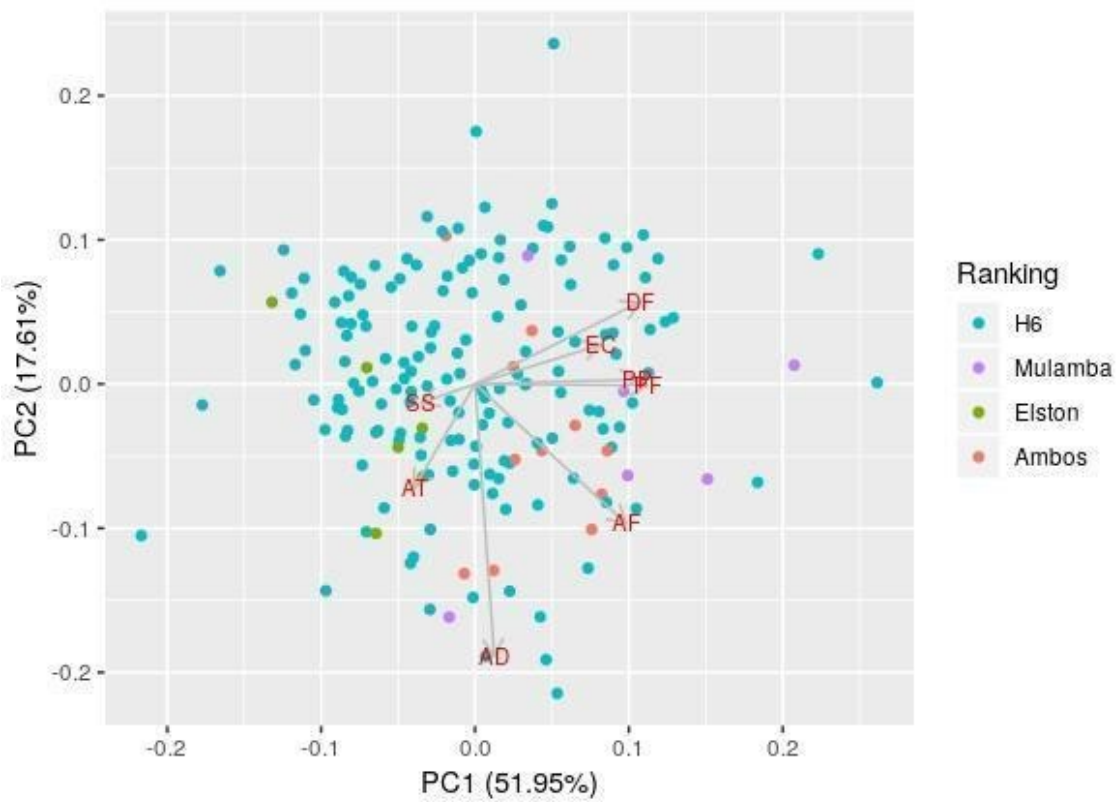
Para visualizar las relaciones de similaridad entre los individuos seleccionados (destacados como superiores por ambos índices) y con resto de la población, fue realizado un gráfico de componentes principales incluyendo todos los individuos de la población. En el gráfico se identificaron los individuos seleccionados por IC, por IM y por ambos índices simultáneamente (Figuras 8 y 9). Vemos que tanto en la población H5 como H6, los individuos seleccionados por IC + IM se distribuyen de forma dispersa en el gráfico, concentrándose mayoritariamente en los cuadrantes derecho inferior y superior (Figuras 8 y 9, población H5 y H6 respectivamente). De esta forma es razonable esperar que los individuos superiores fenotípicamente IC + IM mantengan una amplia base genética.

En ambos análisis, el componente principal 1 (PC1) fue definido principalmente por las variables físicas de frutos (tamaño y peso), altamente correlacionados entre sí explicando entre 47,4 % (fig. 8) y 51,9% (fig. 9) de la variabilidad total. El segundo eje en importancia (PC2), fue definido por las variables asociadas a sabor, SS y AT y la variable de forma AD, explicando el 18,0 % (fig. 8) y 17,6 % (fig. 9) de la variabilidad total. Los análisis de componentes principales también fueron utilizados por Sánchez-Mora et al. (2019) para evaluar la variabilidad genética de las accesiones del banco de germoplasma del EPAGRI (São Joaquim, Brasil). En dicho trabajo se observó una gran similitud con este trabajo en la distribución de los componentes principales, dado que en el primer eje (PC1) se identifica la variación explicada en los caracteres físicos de los frutos, mientras que un segundo componente es explicado por los caracteres químicos como el contenido de azúcares, pH y Acidez total. La asignación a ejes diferentes en el análisis de componentes principales implica una cierta independencia entre las variables de peso y tamaño y las asociadas a cualidades de la fruta como AT y SS lo cual podría estar explicado por genes no ligados (independientes), y /o procesos fisiológicos no asociados entre sí. La comparación de la diversidad genética entre los materiales seleccionados utilizando marcadores moleculares, así como la dilucidación de la arquitectura genética de estas variables, que se viene investigando en Facultad de Agronomía, podrá aportar más elementos al diseño de estrategias de selección para esta especie.



**Figura 8:** Gráfico de componentes principales (PCA) que muestra la distribución de los materiales seleccionados por el índice de clasificación (IC), índice multiplicativo (IM), por ambos índices (Ambos) o no seleccionados en la población H5 de acuerdo a los dos primeros componentes principales.





**Figura 9:** Gráfico de componentes principales (PCA) que muestra la distribución de los materiales seleccionados por el índice de clasificación (IC), índice multiplicativo (IM) por ambos índices (Ambos) o no seleccionados en la población H6 de acuerdo a los dos primeros componentes principales.

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo verifica la amplia variabilidad fenotípica de las poblaciones de mejoramiento H5 y H6 que son mantenidas dentro del Programa de Mejoramiento de Frutales Nativos (FAGRO-INIA). Adicionalmente, permitió cuantificar la importancia de coleccionar datos de al menos tres años, para conseguir una buena caracterización morfológica, y disminuir el error causado por efectos ambientales, principalmente el efecto año.

Las características cualitativas: Forma de Base, Rugosidad de cáscara y Velocidad de oxidación (de la pulpa), mostraron un comportamiento uniforme, con una única categoría predominante y con baja variabilidad tanto dentro como entre poblaciones. En cambio, las ocho características cuantitativas analizadas mostraron amplia variabilidad dentro y entre las poblaciones, con marcadas variaciones según el año de evaluación. Estas variables mostraron correlaciones positivas y altas para las variables de tamaño (Altura de fruto y Diámetro de fruto) y peso (Peso de fruto y Peso de pulpa), y no se observaron correlaciones con las variables Sólidos solubles totales y Acidez titulable.

Las características de tamaño y peso del fruto presentaron valores de heredabilidad que se consideran moderados a altos, sumado a la correlación positiva, resulta beneficioso en el progreso genético de estas variables para Guayabo del país. Sin embargo, la correlación positiva entre Espesor de cáscara (EC) y variables de tamaño de fruto indican que la selección por mayores rendimientos de pulpa (de individuos con menor EC, sin disminuir el tamaño del fruto), resulta más desafiante.

Adicionalmente, la aplicación de los índices de selección de suma (IC) y multiplicativo (IM), permiten combinar varias características relevantes para el programa de mejoramiento. De esta forma, fue posible identificar mediante un ranking, 8 individuos en la población H5 y 11 en la población H6 que se destacan por el tamaño y peso, buen sabor del fruto y menor espesor de cáscara tomando en cuenta tres años de evaluación. El análisis de componentes principales (PCA) nos permitió visualizar una amplia base genética entre los individuos seleccionados, dentro de la variabilidad observada en cada una de las poblaciones. A partir de estos resultados se considera de utilidad la aplicación de estos índices de selección, para futuros procesos de mejoramiento genético tanto en Guayabo del país, como así también en la selección de otros frutos nativos.

## 6. RESUMEN

El guayabo del país [*Acca sellowiana* (Berg.) Burret], es un promisorio frutal nativo, considerando las destacadas propiedades nutricionales de sus frutos. Su producción comercial se realiza principalmente en Colombia, Nueva Zelanda y Estados Unidos, siendo en Uruguay únicamente a escala local. En Uruguay, el Programa de Mejoramiento Genético del Guayabo del país (INIA-FAGRO) busca obtener selecciones con potencial comercial con calidad superior de fruta. Enmarcado en este programa, este trabajo evaluó la variabilidad fenotípica de caracteres que definen la calidad de fruta en dos poblaciones de mejoramiento. Además, fueron evaluados y comparados dos índices de selección como herramientas para la identificación de individuos superiores. Se caracterizaron dos poblaciones de hermanos completos H5 (139 individuos) y H6 (182 individuos). Se midieron 9 variables cuantitativas de fruta, incluyendo: largo y diámetro de fruto, relación altura-diámetro, peso de fruto, peso de pulpa, espesor de cáscara, sólidos solubles totales, acidez total titulable, peso de 100 semillas y fecha de floración durante tres años (2015, 2016, 2017). Adicionalmente se incluyeron las variables cualitativas: rugosidad de la cáscara, velocidad de oxidación y forma de la base del fruto. Para cada población se realizó un análisis descriptivo, se estimó el nivel de variabilidad entre años y poblaciones, se estimó la heredabilidad de cada variable, así como las correlaciones entre las variables. La identificación de individuos superiores fue realizada mediante la aplicación del índice de suma de clasificación y el índice multiplicativo. Como resultado, ambas poblaciones presentaron un alto nivel de variabilidad fenotípica, consistentes entre los años de evaluación. Las variables de tamaño (largo y diámetro) y peso (fruto y pulpa) de fruto presentaron correlaciones altas y positivas, consistentes entre ambas poblaciones. Las heredabilidades estimadas fueron moderadas a altas para todas las variables y similares para ambas poblaciones, con excepción de la variable sólidos solubles totales. Los índices de selección presentaron altas correlaciones (0,79 y 0,80, para H5 y H6 respectivamente) en el ranking de los individuos. Aplicando ambas metodologías fue posible identificar 8 y 11 individuos para H5 y H6, respectivamente, que se destacan por sus cualidades de calidad de fruta. La gran variabilidad fenotípica encontrada, así como la identificación de materiales con características superiores, representan una valiosa contribución para el mejoramiento de la especie.

Palabras clave: Mejoramiento genético, *Acca sellowiana*, Calidad de fruta.

## 7.SUMMARY

The feijoa or “Guayabo del País” [*Acca sellowiana* (Berg.) Burret] is a promising native fruit tree, due to the outstanding nutritional properties of its fruits. This fruit tree is extensively cultivated in Colombia, New Zealand and the United States, while in Uruguay it is cultivated only on a small and local scale. Currently, the main objective of the Breeding Program of “Guayabo del País” in Uruguay (FAGRO-INIA) is to develop and improve superior cultivars, with excellent fruit quality. Supporting this program, in this study fruits of two breeding populations were evaluated with the objective to characterize the phenotypic variation. Additionally, two selection indexes were compared and applied to select individuals with superior fruit characteristics. Two full-sib F1 populations, H5 (139 individuals) and H6 (182 individuals), connected by one common progenitor were characterized. Fourteen morphological variables were evaluated during three years (2015, 2016, 2017) including: fruit diameter, fruit length, diameter-length ratio, fruit weight, pulp weight, skin thickness, total soluble solids, total titratable acidity, 100 seeds weights and flowering date; in addition to the qualitative descriptors: roughness of the skin, pulp oxidation rate y shape of fruit base. For each population, a descriptive analysis was carried out for each variable, the degree of variability between years and populations, as well as the correlation between variables. To meet the breeding objectives, superior individuals were identified through the multiplicative index and the sum of classification index. Both populations presented a high degree of phenotypic variability, consistent between the three years of evaluation. The highest and positive correlations among fruit quality traits were obtained between fruit size (diameter and length) and weight (fruit weight and pulp weight) for both populations. Heritability estimates were moderate to high for all variables analyzed, and similar for both populations except for total soluble solids. A high correlation between the selection index was found (0.79 and 0.80, for H5 and H6 respectively), indicating that the ranking of individuals was well preserved. Thus, 8 and 11 individuals for H5 and H6, respectively, were selected for their remarkable fruit quality. The large phenotypic diversity reported in these breeding populations and the identification of superior genotypes based on multiple fruit traits, represents a valuable contribution for the breeding efforts in *A. sellowiana*. Keywords: Plant breeding, *Acca sellowiana*, Fruit quality.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, M. 2018. Diversidad fenotípica y relaciones entre caracteres de calidad de fruta en dos progenies F1 de guayabo del país (*Acca sellowiana* (Berg.) Burret). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 85 p.
2. Azam, B.; Lafitte, F.; Orby, F.; Paulet, J. L. 1981. Le feijoa en Nouvelle-Zélande. *Fruits*. 36(6): 361 - 384.
3. Baccino, M. 2011. Estructura genética de cuatro poblaciones silvestres de *Acca sellowiana* (Berg) Burret situadas en el noreste de Uruguay. Tesis Lic. Ciencias Biológicas. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. 97 p.
4. Bates, D.; Maechler, M.; Bolker, B.; Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. 67(1): 1 - 48.
5. Beyhan, O.; Eydurán, S. P. 2011. Determination of promising native Feijoa (*Feijoa sellowiana* Berg.) genotypes from Sakarya Region in Turkey. *Scientific Research and Essays*. 6(19): 4104 - 4108.
6. Borsuk, L. J.; Saifert, L.; Otalora-Villamil, J. M.; Sánchez-Mora, F. D.; Nodari, R. O. 2017. Phenotypic variability in feijoa fruits [*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret] on Indigenous lands, Quilombolas communities and Protected areas in the south of Brazil. (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 39(1): e699. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1590/0100-29452017699>.

7. Cabrera, D.; Vignale, B.; Nebel, J. P.; Lombardo, P.; Rodríguez, P.; Zoppolo, R.; Pereira, C. 2012. Avances en la selección de guayabo del país. In: Encuentro Nacional sobre Frutos Nativos (6º., 2005). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 48 - 53. (Serie Actividades de Difusión no. 679).
8. Cacioppo, O. 1988. La Feijoa. Madrid, Mundi-Prensa. 85 p.
9. Calvete, A. 2013. Contribución al Mejoramiento Genético Participativo de Guayabo del País (*Acca sellowiana* (Berg. Burret)) en el paisaje protegido "Quebrada de los Cuervos". Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 86 p.
10. Chandler, W. H. 1962. Frutales de hoja perenne. México, Uteha. 666 p.
11. Costa, D. P.; Ribeiro, L. de O.; Coelho Filho, M. A.; Ledo, C. A. da S.; Stuchi, E. S.; Girardi, E. A.; Gesteira, A. da S.; Soares Filho, W. dos S. 2020. Nonparametric indices for the selection of hybrid citrus rootstocks grafted with "Valência" sweet orange. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 55: e01592. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01592>.
12. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, Columbia University. 1262 p.
13. Cunda, J. N. 2006. Caracterización de plantas de Guayabo del País (*Acca sellowiana* (Berg) Burret), desde un enfoque frutícola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 105 p.

14. Degenhardt, J.; Orth, A. I.; Guerra, M. P.; Ducroquet, J. P.; Nodari, R. O. 2001. Morfología floral da goiabeira serrana (*Feijoa sellowiana*) e suas implicações da polinização. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 23(3): 718 - 721.
15. \_\_\_\_\_; Ducroquet, J. P.; Guerra, M. P.; Nodari, R. O. 2003. Avaliação fenotípica de características de frutos em duas famílias de meios-irmãos de goiabeira-serrana (*Acca sellowiana* Berg) de um pomar comercial em São Joaquim, SC. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25(3): 475 - 479.
16. Dettori, M. T.; Palombi, M. A. 2000. Identification of *Feijoa sellowiana* Berg accessions by RAPD markers. *Scientia Horticulturae*. 86: 279 - 290.
17. Donazzolo, J.; Salla, V. P.; Sasso, S. A. Z.; Danner, M. A.; Citadin, I.; Nodari, R. O. 2017. Path analysis for selection of feijoa with greater pulp weight. (en línea). *Ciência Rural*. 47(6): e20161062. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161062>.
18. Ducroquet, J. P. H. J.; Hickel, E. R.; Nodari, R. O. 2000. Goiabeira-serrana (*Feijoa sellowiana*). Jaboticabal: Funep. 66 p. (Série Frutas Nativas no. 5).
19. \_\_\_\_\_; dos Santos, K. L.; de Andrade, E. R.; da Silva Boneti, J. I.; Bonin, V.; Onofri Nodari, R. 2007. As primeiras cultivares brasileiras de goiabeira serrana: SCS 411 Alcântara e SCS 412 Helena. *Agropecuária Catarinense*. 20(2): 77 - 80.

20. \_\_\_\_\_.; Nunes, E. da C.; Guerra, M. P.; Nodari, R. O. 2008. Novas cultivares brasileiras de goiabeira serrana: SCS 414-Mattos and SCS 415-Nonante. *Agropecuária Catarinense*. 21(2): 77 - 80.
21. Elston, R. C. 1963. A Weight-Free Index for the Purpose of Ranking or Selection with Respect to Several Traits at a Time. *Biometrics*. 19(1): 85 - 97.
22. EPAGRI. CEPA (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola, BR). 2013. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2011-2012. Florianópolis, EPAGRI. 183 p.
23. Falconer, D. S.; Mackay, T. F. C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4a. ed. Essex, Longman. 464 p.
24. Fellahi, Z. E. A.; Hannachi, A.; Bouzerzour, H. 2020. Expected genetic gains from mono trait and index-based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 73(2): 9131 - 9141.
25. Fischer, G. 2003. Ecofisiología, crecimiento y desarrollo de la feijoa. In: Fischer, G.; Miranda, D.; Cayón, G.; Mazorra, M. eds. *Cultivo, poscosecha y exportación de la Feijoa (Acca sellowiana Berg)*. Bogotá, Produmedios. pp. 9 - 26.
26. \_\_\_\_\_.; Parra-Coronado, A. 2020. Influence of some environmental factors on the feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret): a review. *Agronomía Colombiana*. 38(3): 388 - 397.



27. FreshFacts. 2020. New Zealand Horticulture 2020. (en línea). s.n.t. 25 p.  
Consultado jun. 2022. Disponible en  
<https://www.freshfacts.co.nz/files/freshfacts-2020.pdf>.
28. Gonçalves, G. M.; Viana, A. P.; Bezerra Neto, F. V.; Pereira, M. G.; Pereira, T. N. S. 2007. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 42: 193 - 198.
29. Google Earth. 2021. [Mapa satelital]. (en línea). Mountain View, Google. s.p. Consultado jul. 2021. Recuperado de <https://earth.google.com/>.
30. Grela, I. 2004. Geografía florística de las especies arbóreas de Uruguay: propuesta para la delimitación de dendrofloras. Tesis Msc. Ciencias Biológicas. Montevideo, Uruguay. Ministerio de Educación y Cultura. Universidad de la República. Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas. 97 p.
31. Keller, H. A.; Tressens, S. G. 2007. Presencia en Argentina de dos especies de uso múltiples: *Acca sellowiana* (Myrtaceae) y *Casearia Lasiophylla* (Flacourtiaceae). Darwiniana. 45: 204 - 212.
32. Legrand, D. 1968. Las mirtáceas del Uruguay, III. Boletín Facultad de Agronomía. no. 101: 2 - 80.
33. Lessa, L.; Ledo, C.; Santos, V.; Silva, S.; Peixoto, C. 2010. Seleção de híbridos diplóides (AA) de bananeira com base em três índices não paramétricos. Bragantia. 69: 525 - 534.
34. Martínez, N.; Vignale, B.; Montes, F.; Dellacassa, E. 2010. Caracterización de frutos nativos del Uruguay según su valor nutricional. In:

Encuentro Nacional sobre frutos nativos (5°. , 2010, Tacuarembó).  
Trabajos presentados. Tacuarembó, INIA. pp. 34 - 36. (Serie  
Actividades de Difusión no. 602).

35. Mattos, J. R. A. 1986. Goiabeira-Serrana. Porto Alegre, Instituto de  
Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis. 84 p. (Publicação  
IPRNR no. 19).
36. Ministerio de Agricultura, CO. 2018. Reporte: Área, Producción y  
Rendimiento Nacional por Cultivo. (en línea). Bogotá, Red de  
Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano.  
s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en  
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=1>.
37. Mulamba, N. N.; Mock, J. J. 1978. Improvement of yield potential of the Eto  
Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits.  
Egyptian Journal of Genetics and Cytology. 7: 40 - 51.
38. Nakashima, H. 2001. Biological activity of feijoa peel extracts. Kagoshima  
University Research Center for the Pacific Islands, Occasional  
Papers. 34: 169 - 175
39. Pasquariello, M. S.; Mastrobuoni, F.; Di Patre, D.; Zampella, L.; Capuano,  
L. R.; Scortichini, M.; Petriccione, M. 2015. Agronomic, nutraceutical  
and molecular variability of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret)  
germplasm. Scientia Horticulturae. 191: 1 - 9.
40. Peña, B. F. J.; Cabezas, G. M. 2014. Aspectos ecofisiológicos de la feijoa  
(*Acca sellowiana* Berg) bajo condiciones de riego y déficit hídrico.  
Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 17(2): 381 -  
390.

41. Pereira, A. 2021. El fruto nativo que fue domesticado y se vendió al doble de precio en la UAM. (en línea). El Observador. s.p. Consultado mar 2022. Disponible en [www.elobservador.com.uy/nota/el-fruto-nativo-que-fue-domesticado-y-se-vendio-al-doble-de-precio-en-la-uam-20215175014/amp](http://www.elobservador.com.uy/nota/el-fruto-nativo-que-fue-domesticado-y-se-vendio-al-doble-de-precio-en-la-uam-20215175014/amp).
42. Pérez Pelea, L.; Fernández, E. B.; Herrero, J. V. I.; Palenzuela, J. B. V. 2018. Estimación de heredabilidad y correlaciones de caracteres cuantitativos evaluados en poblaciones de guayabo (*Psidium guajava* L. (Myrtaceae)). *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*. 6(1): 1 - 10.
43. Popenoe, F. W. 1912. *Feijoa sellowiana*: its history, culture and varieties. *Pomona College Journal of Economic Botany*. 2(1): 217 - 242.
44. Puppo, M. 2008. Prospección y caracterización de poblaciones silvestres de *Acca sellowiana* (Berg) Burret. (guayabo del país). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 123 p.
45. \_\_\_\_\_.; Rivas, M.; Franco, J.; Barbieri, R. L. 2014. Propuesta de descriptores para *Acca sellowiana* (Berg.) Burret. *Revista Brasileira de fruticultura*. 36(4): 957 - 970.
46. Quintero, O. C. 2015 Producción y comercialización del Guayabo del País (feijoa) en Colombia. In: Encuentro Nacional sobre frutos nativos (7°. , 2015, Colonia). Trabajos presentados. Colonia, INIA. s. p. (Serie Actividades de Difusión no. 745).

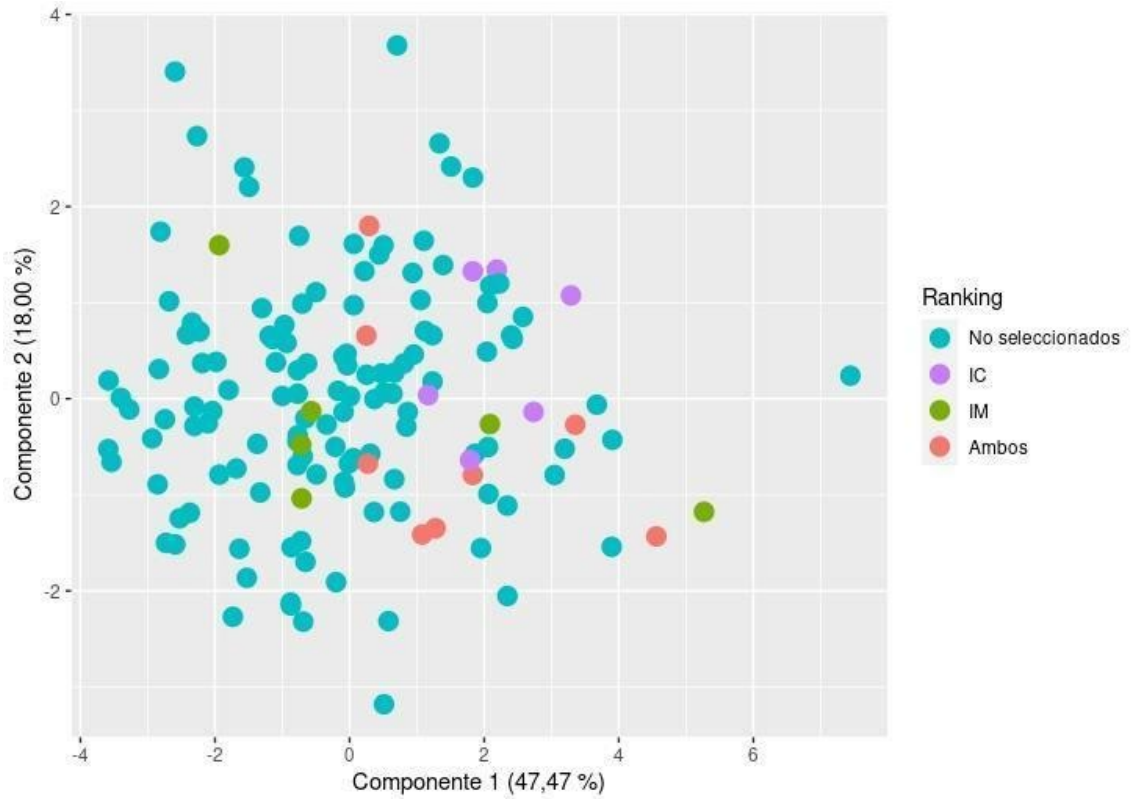
47. Rodríguez, P.; Zoppolo, R.; Cabrera, D. 2021. Evaluación de Cultivares de Guayabo del País -*Acca sellowiana* (Berg) Burret- introducidos desde Nueva Zelanda. Revista INIA. no. 65: 56 - 59.
48. Rosano, L.; Rama, P.; Vignale, B.; Cabrera, D.; Neves, F.; Rodríguez, M.; Arcauz, A. 2012. Recetario de frutos nativos del Uruguay. (en línea). Montevideo, MEC. 98 p. Consultado 20 feb. 2022. Disponible en [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/recetario de frutos nativos del uruguay.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/recetario_de_frutos_nativos_del_uruguay.pdf).
49. Saifert, L. 2019. Caracterização fenotípica e genética de acessos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret da Epagri de São Joaquim. Dissertação Mestre em Ciências, área de concentração: Recursos Genéticos Vegetais. Florianópolis, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina. 112 p.
50. Sánchez-Mora, F. D.; Saifert, L.; Ciotta, M. N.; Ribeiro, H. N.; Petry, V. S.; Rojas-Molina, A. M.; Lopes, M. E.; Lombardi, G. G.; dos Santos, K. L.; Ducroquet, J. P. H. P.; Nodari, R. O. 2019. Characterization of Phenotypic Diversity of Feijoa Fruit of Germoplasma Accessions in Brazil. (en línea). *Agrosystems Geosciences & Environment*. 2(1): 190005. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2134/age2019.01.0005>.
51. Santos, E.; Vera, M.; Mendoza, Y.; Días Ceti, S.; Cabrera, D.; Vignale, B. 2010. Polinizadores de *Acca sellowiana* Berg. Burret- Guayabo del País. In: Encuentro nacional sobre frutos nativos (5º., 2010, Salto). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 16 - 21.

52. Santos, K. 2005. Bases genéticas de características de importância agronômica em Goiabeira-Serrana (*Acca sellowiana*). Tese Mestre Ciências com Área de concentração em Recursos Genéticos Vegetais. Florianópolis, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina. 125 p.
53. Silveira, A. C.; Oyarzún, D.; Rivas, M.; Zaccari, F. 2016. Evaluación de la calidad poscosecha en frutos de guayabo del país (*Acca sellowiana* (Berg) Burret). *Agrociencia* (Uruguay). 20(2): 14 - 21.
54. Smith, H. F. 1936. Una función discriminante para la selección de plantas. *Annals of human genetics*. 7(3): 240 - 250.
55. Thorp, G.; Bielecki, R. 2002. Feijoas: origins, cultivation and uses. Auckland, HortResearch. 87 p.
56. Tocornal, G. 1988. La Feijoa. In: Frutales no tradicionales. Santiago, Chile, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. pp. 125-154. (Publicaciones Misceláneas Agrícolas no. 20).
57. Urraburu, M. 2017. Comportamiento poscosecha y funcional de materiales genéticos de guayabo del país (*Acca sellowiana* (O. berg.) Burret) y arazá (*Psidium cattleianum* Sba). Tesis Mag. Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 157 p.
58. Vieira, S. D.; Souza, D. C.; Martins, I. A.; Ribeiro, G. H. M. R.; Resende, L. V.; Ferraz, A. K. L.; Galvão, A. G.; de Resende, J. T. V. 2017. Selection of experimental strawberry (*Fragaria x ananassa*) hybrids based on selection indices. (en línea). *Genetics and Molecular*

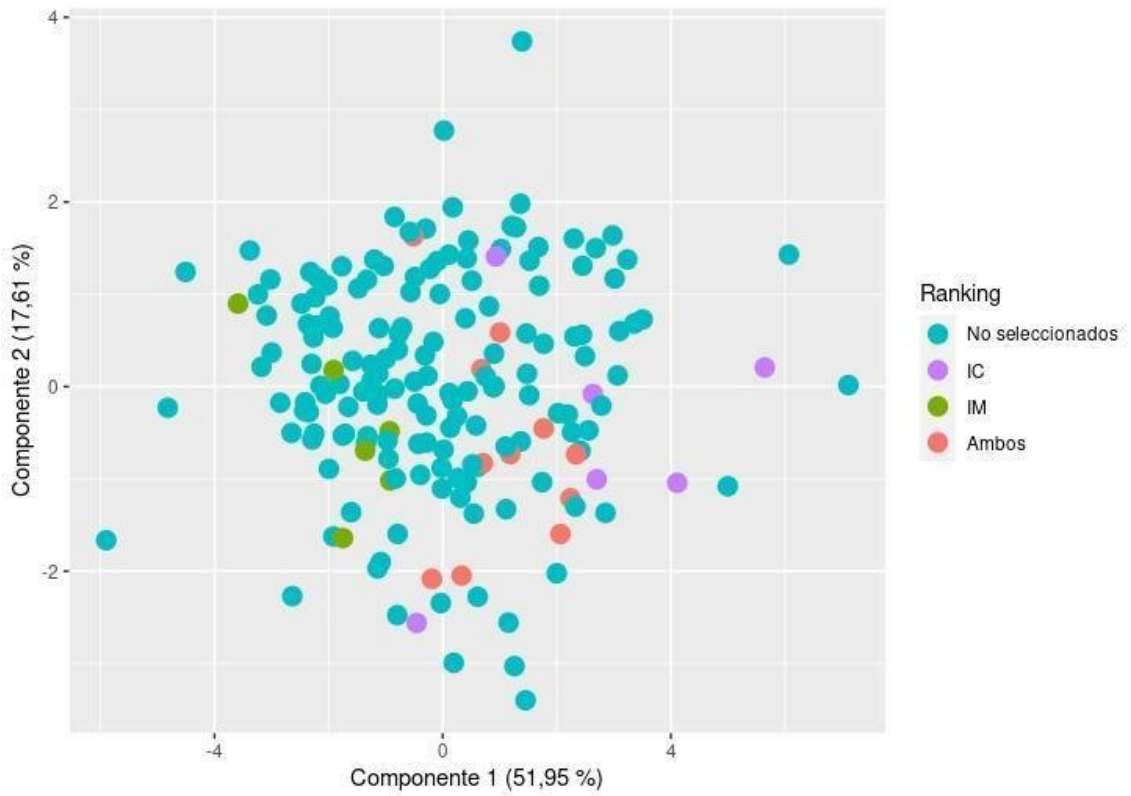
Research. 16(1): gmr16019052. Consultado jul. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4238/gmr16019052>.

59. Vignale, B.; Bisio, L. 2005. Selección de frutales nativos en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 9(1-2): 35 - 39.
60. Vignale, B.; Cabrera, D.; Nebel, J. P.; Lombardo, P.; Rodríguez, P.; Zoppolo, R.; Pereira, C. 2012. Selección de frutas nativas: avances. In: Encuentro Nacional sobre Frutos Nativos (6º., 2012, Canelones). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 38 - 44. (Serie Actividades de Difusión no. 679).
61. Williams, J. S. 1962. The evaluation of a selection index. *Biometría*. 18(3): 375 - 393.

## 9. ANEXOS



**Figura.** Gráfico de PCA que muestra la distribución de acuerdo a dos componentes principales los materiales no seleccionados y los seleccionados por IC y IM (por cada uno y ambos índices), para la población H5.



**Figura.** Gráfico de PCA que muestra la distribución de acuerdo a dos componentes principales los materiales no seleccionados y los seleccionados por IC y IM (por cada uno y ambos índices), para la población H6.



**Cuadro A1.** Materiales H5 seleccionados (mejores 10% de la población).  
 Según índice de suma de clasificación (Elston, 1963).  
 Entre paréntesis se detalla la posición en el ranking individual para variables  
 usadas en el índice de selección.

Genotipo	AF	DF	AD	PF	PP	EC	SS	AT	Ranking
H5_139	51,43	36,84	1,35	38,19 (3)	19,21(2)	3,41(122)	13,18(11)	0,90(67)	1
H5_116	49,26	34,57	1,43	31,66(55)	15,51(38)	3,26(75)	12,38(74)	1,14(5)	2
H5_130	50,27	35,25	1,42	30,82(71)	18,56(4)	3,39(116)	12,62(40)	0,88(82)	3
H5_151	46,41	34,60	1,33	30,41(85)	14,51(73)	3,32(95)	12,95(19)	1,11(8)	4
H5_135	48,25	35,02	1,36	31,79(50)	15,08(53)	3,28(87)	12,97(18)	1,01(25)	5
H5_145	47,39	34,26	1,39	30,39(86)	14,76(64)	3,20(41)	13,55(2)	0,90(69)	6
H5_086	48,35	35,59	1,33	33,50(27)	16,40(16)	3,25(69)	12,48(58)	0,94(47)	7

H5_056	49,54	35,72	1,37	33,43(28)	16,17(21)	3,42(128)	12,53(48)	1,01(23)	8
H5_112	51,87	35,96	1,42	35,87(9)	17,59(9)	3,41(121)	12,93(20)	0,85(97)	9
H5_154	48,46	35,60	1,33	32,79(35)	15,05(55)	3,42(127)	13,37(5)	0,98(30)	10
H5_103	48,12	34,41	1,40	30,12(92)	14,42(80)	3,26(71)	13,12(13)	0,96(41)	11
H5_174	51,46	34,38	1,53	31,16(65)	15,40(43)	3,09(11)	12,84(24)	0,86(95)	12
H5_060	47,99	33,29	1,49	28,55(117)	13,28(125)	3,24(60)	13,25(7)	1,15(4)	13
H5_126	51,76	37,02	1,35	39,35(2)	19,01(3)	3,65(143)	12,07(106)	1,11(9)	14

**Cuadro A2.** Materiales H6 seleccionados (mejores 10% de la población). Según índice de suma de clasificación (Elston, 1963). Entre paréntesis se detalla posición en el ranking individual para variables usadas en el índice de selección.

Genotipo	AF	DF	AD	PF	PP	EC	SS	AT	Ranking
H6_152	51,83	36,65	1,42	35,76(21)	18,91(3)	3,27(8)	12,36(29)	1,01(103)	1
H6_100	49,33	36,12	1,37	33,42(50)	16,39(29)	3,46(88)	12,22(52)	1,26(5)	2
H6_081	49,96	35,11	1,44	31,99(77)	14,84(73)	3,48(102)	12,33(33)	1,29(3)	3
H6_131	43,05	33,56	1,29	28,04(164)	13,39(137)	3,23(4)	12,61(10)	1,12(36)	4
H6_042	48,65	36,08	1,34	33,49(49)	16,43(26)	3,37(41)	12,32(35)	1,03(93)	5

H6_219	48,25	36,60	1,31	34,37(37)	16,10(38)	3,55(121)	12,51(16)	1,11(39)	6
H6_112	50,05	36,30	1,41	33,90(42)	16,63(21)	3,36(35)	12,28(42)	1,01(110)	7
H6_228	50,37	36,69	1,38	35,40(27)	16,40(27)	3,60(150)	12,78(3)	1,06(73)	8
H6_192	45,84	34,50	1,33	29,45(135)	13,79(119)	3,42(68)	12,53(15)	1,15(28)	9
H6_079	47,92	33,97	1,43	29,23(136)	13,55(130)	3,46(91)	12,66(7)	1,17(28)	10
H6_245	52,16	35,95	1,44	35,26(30)	16,67(20)	3,58(142)	12,46(18)	1,06(76)	11
H6_122	50,83	35,06	1,48	32,10(74)	15,81(44)	3,29(11)	12,11(83)	1,02(95)	12
H6_036	47,99	34,94	1,39	30,47(114)	14,42(90)	3,41(58)	12,05(102)	1,24(7)	13
H6_185	51,51	37,26	1,38	36,93(9)	16,30(31)	3,59(147)	12,56(12)	1,15(30)	14

H6\_045 45,79 36,08 1,25 31,77(80) 14,95(68) 3,42(69) 12,22(54) 1,10(47) 15

H6\_065 47,18 34,99 1,35 31,26(96) 14,06(108) 3,57(139) 12,45(20) 1,29(2) 16

H6\_243 47,47 34,70 1,38 29,85(126) 14,29(98) 3,31(15) 12,06(96) 1,16(23) 17