

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**POSTGRADO EN AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL**

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN ACCESIONES  
DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.)

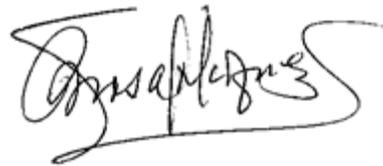
Ing. Agr. Perling Y. Lagarde G.

Tutora: Dra. Rosalía Velásquez

Asesores: PhD. Jocelyne Ascencio y MSc. María Cecilia Perdomo.

Noviembre, 2023

Trabajo de grado presentado como Requisito Final para optar al título de *Magister Scientiarum* en  
Agronomía en la Orientación Protección Vegetal.



---

Tutora

Dra. Rosalía Velásquez

C.I. 7.199.183

AGRONOMÍA - UCV



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
POSTGRADO EN AGRONOMÍA  
VEREDICTO



Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo de Grado presentado por: **PERLING YANITZA LAGARDE GÓMEZ**, C.I. 17.471.864, bajo el título "CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum sp.*)", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de *Magister Scientiarum* en Agronomía, dejan constancia de lo siguiente:

1 - Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 27 de octubre de 2023 a las 9:00 am., para que la autora lo defendiera en forma pública, lo que ésta hizo en el salón A de Instituto de Botánica Agrícola, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

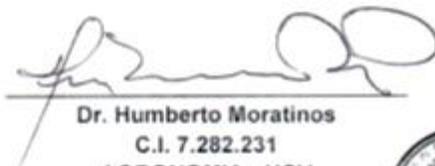
2 - Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **APROBARLO**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por la autora, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Dando un aporte académico de formación y agronómico a sector científico. La rigurosidad de la metodología permite profundizar en las áreas de marcadores moleculares y fisiológicos a ser usado por todo aquel estudiante de pre y postgrado.

El Jurado estimó otorgar al Trabajo la calificación de **EXCELENTE**, por lo anteriormente señalado. (aporte, metodología y resultados).

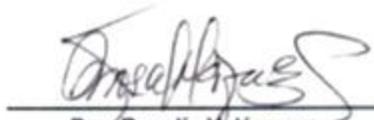


En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 27 días del mes de Octubre del año 2023, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinadora del jurado la Dra. Rosalía Velázquez.

  
Dr. Humberto Moratinos  
C.I. 7.282.231  
AGRONOMIA -UCV

  
Dr. Mercedes Pérez  
C.I. 5.145.642  
INIA



  
Dra. Rosalía Velázquez  
C.I. 7.199.183  
AGRONOMÍA-UCV  
Tutor(a)

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso que me guía y me enseña el camino por el cual debo transitar.

A mi mamá, hermano y a mi perrito Rex. Y especialmente a mi padre Pedro J. Lagarde M., a quién extraño todos los días y quién me brindó consejos útiles durante nuestra travesía por la UCV.

A la Universidad Central de Venezuela y Facultad de Agronomía, por formarme profesionalmente y por brindarme sus espacios como un segundo hogar.

Por último, pero no menos importante, me dedico este trabajo de investigación, por todas las adversidades que superé durante su ejecución, y por todos los aprendizajes que me dejó a nivel personal y profesional.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a todas las personas y amigos, dentro y fuera de UCV, que me ayudaron a llevar a feliz término este trabajo de investigación, incluso a aquellos que solo me escucharon en los momentos más difíciles.

Especial agradecimiento a mi tutora Rosalía Velásquez, quién me apoyó, aconsejó y me aguantó durante todo el camino recorrido, por siempre tener una palabra oportuna, por contagiarme con su buena vibra, y quién se ha convertido en mi amiga.

A todo el personal que labora en el Instituto de Genética, quienes me apoyaron muchísimo y me han ofrecido su afecto sincero, así como su colaboración y sabias palabras. Siempre serán mi familia UC Vista.

A todos los profesores que me han brindado su amistad sincera, que se preocupan por mí de forma honesta y desinteresada, quienes se alegran sinceramente de mis logros y quienes me acompañan y aconsejan en mis retos y dificultades. Los admiro y les doy las gracias por siempre.

Al amor que llegó a mi vida, y el cual agradezco todos los días.

¡Gracias, Gracias, Gracias!

# CARACTERIZACIÓN MOLECULAR Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.)

## RESUMEN

La alta variabilidad genética existente en ají dulce hace necesaria la obtención de un material homogéneo, tanto agronómico como culinario, es por ello que es imprescindible la caracterización molecular, así como el análisis de crecimiento con la finalidad de aportar información útil dentro de los programas de mejoramiento genético. Por tal motivo, el análisis molecular se realizó en 12 accesiones de ají dulce provenientes de Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP en el Laboratorio de Genética Molecular (CIBA) de la Facultad de Agronomía (UCV), y 19 marcadores de tipo RAPD. El análisis de crecimiento se realizó en tres accesiones de la colección del Banco de Germoplasma de acuerdo a su lugar de procedencia, bajo condiciones de invernadero con un diseño completamente al azar. Se observó la mejor resolución en sus productos de amplificación en OPA-02, OPE-03 y OPE-04, siendo OPE-03 el que aportó mayor información y permitió evaluar la variabilidad y el polimorfismo genético entre las accesiones, además en el dendrograma y el análisis de componentes principales se observó la formación de dos grupos discriminantes de las accesiones, asociados posiblemente con la presencia/ausencia de pungencia. Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 fueron las mejores en acumulación de biomasa seca total. OSP-HOR-14-726 fue la mejor para la variable altura de planta, y para diámetro de tallo, las mejores fueron OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, mientras que para la variable índice de clorofila (SPAD), OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 mostraron los mejores resultados. Para las variables de rendimiento, OSP-HOR-10-988 mostró la mayor longitud de frutos y acumulación de biomasa fresca en frutos, y para el diámetro de frutos, OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 mostraron los mejores valores, y OSP-HOR-14-726 fue la que presentó el mayor peso de 100 semillas. El uso de los índices de crecimiento (ICR, IAN, RAF, RPF, AFE) evidenció que hay diferencias entre las tres accesiones de ají dulce. Las principales variables morfofisiológicas con la mayor capacidad de expresar la variabilidad, fueron: área foliar y número de hojas promedio, las cuales permitieron la separación de OSP-HOR-10-988. Además, el mejor rendimiento se presentó en OSP-HOR-14-726, y la más eficiente en acumulación de biomasa seca total fue OSP-HOR-12-1048.

Palabras clave: RAPD, Variables Morfofisiológicas, Índices de Crecimiento, Variabilidad

# MOLECULAR CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF GROWTH IN SWEET PEPPER ACCESSIONS (*Capsicum* sp.)

## ABSTRACT

The high genetic variability existing in sweet pepper makes it necessary to obtain a homogeneous material, both agronomic and culinary, which is why molecular characterization is essential, as well as growth analysis in order to provide useful information within plant breeding programs. For this reason, the molecular analysis was carried out on 12 sweet pepper accessions from the INIA–CENIAP Germplasm Bank at the Molecular Genetics Laboratory (CIBA) of the Faculty of Agronomy (UCV), and 19 RAPD-type markers. The growth analysis was carried out in three accessions from the Germplasm Bank collection according to their place of origin, under greenhouse conditions with a completely randomized design. The best resolution in their amplification products was observed in OPA-02, OPE-03 and OPE-04, being OPE-03 the one that provided the most information and allowed to evaluate the variability and genetic polymorphism between the accessions, in addition, in the dendrogram and the principal component analysis, the formation of two discriminating groups of the accessions was observed, possibly associated with the presence/absence of pungency. The accessions OSP-HOR-10-988 and OSP-HOR-12-1048 were the best in total dry biomass accumulation. OSP-HOR-14-726 was the best for the plant height variable, and for stem diameter, the best were OSP-HOR-14-726 and OSP-HOR-12-1048, while for the chlorophyll index variable (SPAD), OSP-HOR-14-726 and OSP-HOR-10-988 showed the best results. For the yield variables, OSP-HOR-10-988 showed the greatest fruit length and fresh biomass accumulation in fruits, and for fruit diameter, OSP-HOR-14-726 and OSP-HOR-10-988 showed the best values, and OSP-HOR-14-726 was the one with the highest weight of 100 seeds. The use of growth indices (ICR, IAN, RAF, RPF, AFE) showed that there are differences between the three sweet pepper accessions. The main morphophysiological variables with the greatest capacity to express variability were: leaf area and average number of leaves, which allowed the separation of OSP-HOR-10-988. In addition, the best yield was presented in OSP-HOR-14-726, and the most efficient in total dry biomass accumulation was OSP-HOR-12-1048.

Keywords: RAPD, Morphophysiological Variables, Growth Rates, Variability.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO I .....	5
CARACTERIZACIÓN MOLECULAR CON MARCADORES DE TIPO RAPD.....	5
Revisión de literatura .....	5
Identificación del polimorfismo a través de marcadores moleculares de tipo RAPD .....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Ubicación del ensayo .....	10
Material vegetal.....	10
Evaluación molecular.....	12
Análisis estadístico.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE ACCESIONES DE AJÍ DULCE ( <i>Capsicum</i> sp.).	14
Obtención de ADN en tejido foliar .....	14
Evaluación molecular .....	14
CAPÍTULO II.....	24
EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE .....	24
Revisión de literatura .....	24
Análisis de crecimiento .....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE ( <i>Capsicum</i> sp.) .....	28

Ubicación del ensayo .....	28
Material vegetal.....	30
Manejo del Experimento .....	30
Diseño experimental .....	31
Variables evaluadas.....	31
Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos destructivos. ....	31
Número de hojas totales .....	31
Área foliar (cm <sup>2</sup> ).....	31
Biomasa seca foliar (g).....	32
Biomasa seca tallos (g).....	32
Biomasa seca radical (g):.....	32
Biomasa seca de frutos (g) .....	32
Biomasa seca total (g): .....	32
Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos no destructivos. ....	32
Altura de planta (cm).....	32
Diámetro del tallo principal (cm) .....	33
Índice de Clorofila (Unidades SPAD).....	33
Variables de rendimiento. Muestreos no destructivos. ....	33
Análisis estadístico.....	33
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE ( <i>Capsicum</i> sp.) MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES.....	34
IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOFISIOLÓGICAS QUE PUDIERAN SER UTILIZADAS DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO O PRE- MEJORA.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE ( <i>Capsicum</i> sp.) .....	36
Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos destructivos. ....	36
Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos no destructivos. ....	61
Variables de rendimiento. Muestreos no destructivos. ....	72
Discusión final.....	81

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE ( <i>Capsicum</i> sp.) MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES.....	82
Índice de Crecimiento Relativo (ICR).....	82
Índice de Asimilación Neta (IAN) .....	86
Razón de Área Foliar (RAF) .....	90
Razón de Peso Foliar (RPF) .....	93
Área Foliar Específica (AFE).....	96
Discusión final.....	99
IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOFISIOLÓGICAS QUE PUDIERAN SER UTILIZADAS DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO O PRE- MEJORA.....	101
Análisis multivariado (Dendrograma).....	101
Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r$ ) .....	104
Análisis de Componentes Principales (ACP).....	106
Discusión final.....	110
CONCLUSIONES .....	112
RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Accesiones provenientes del Banco de Germoplasma del INIA-CENIAP.....	10
<b>Cuadro 2.</b> Secuencia de bases de los marcadores moleculares (RAPD) utilizados en la PCR.....	12
<b>Cuadro 3.</b> Cebadores RAPD utilizados en la caracterización molecular con sus respectivas secuencias y el número de bandas polimórficas generadas, porcentaje (%) de polimorfismo y el PIC, en el estudio de caracterización molecular de 12 de accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	15
<b>Cuadro 4.</b> Índices de similitud y distancia genética entre las 12 accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp., basados en la distancia genética de Jaccard.....	18
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de suelo con fines de fertilidad (2018).....	29
<b>Cuadro 6.</b> Accesiones a utilizar en la evaluación de crecimiento.....	30
<b>Cuadro 7.</b> Tratamientos (accesiones) escogidas de acuerdo a la procedencia geográfica.	31
<b>Cuadro 8.</b> Análisis de crecimiento clásico. Cálculo y unidades. ....	35
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias para número de hojas promedio de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	39
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias para el área foliar promedio (cm <sup>2</sup> ) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	42
<b>Cuadro 11.</b> Comparación de medias para biomasa seca foliar promedio (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	46
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias para biomasa seca foliar promedio (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	49
<b>Cuadro 13.</b> Comparación de medias para biomasa seca radical promedio (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	52
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias para biomasa seca de frutos promedio (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	55
<b>Cuadro 15.</b> Comparación de medias para biomasa seca total promedio de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	58

<b>Cuadro 16.</b> Comparación de medias para altura de planta promedio (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	62
<b>Cuadro 17.</b> Comparación de medias para diámetro de tallo promedio (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	66
<b>Cuadro 18.</b> Comparación de medias para índice de clorofila promedio (Unidades SPAD) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	69
<b>Cuadro 19.</b> Comparación de medias para longitud y diámetro de fruto promedio (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	74
<b>Cuadro 20.</b> Comparación de medias para peso promedio de 100 semillas (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	77
<b>Cuadro 21.</b> Comparación de medias del peso promedio de frutos (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	80
<b>Cuadro 22.</b> Matriz de los coeficientes de correlación de Pearson ( <i>r</i> ) entre las características morfofisiológicas de mayor variabilidad de tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.).....	104
<b>Cuadro 23.</b> Valor del porcentaje de la varianza explicada por los componentes principales para las variables morfofisiológicas y de rendimiento en tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.).....	107
<b>Cuadro 24.</b> Valores promedio de las variables morfofisiológicas y de rendimiento de las tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.).....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Visualización de la calidad y cantidad del ADN de 12 accesiones de ají dulce ( <i>Capsicum</i> sp.).....	14
<b>Figura 2.</b> Amplificación PCR-RAPD del ADN obtenido mediante el método Dellaporta <i>et al.</i> (1983) en 12 accesiones de ají dulce ( <i>Capsicum</i> sp.). A: Perfiles electroforéticos generados con el cebador OPA-02. B: Perfiles electroforéticos generados con el cebador OPE-03. C: Perfiles electroforéticos generados con el cebador OPE-04. Carriles 1-12: Accesiones de ajíes; 14: Marcador 1kb.....	14
<b>Figura 3.</b> Comparación de accesiones de ají que presentaron valores de similitud bajo y alto de acuerdo los resultados del índice de similitud y distancia genética de Jaccard.....	19
<b>Figura 4.</b> Dendograma obtenido del análisis de agrupamiento UPGMA y distancia genética de Jaccard para las 12 accesiones de ajíes ( <i>Capsicum</i> sp.) y tres cebadores RAPD (OPA-02, OPE-03 y OPE-04), utilizando el método de la regla fija a 0,20 de similitud.....	20
<b>Figura 5.</b> Análisis de componentes principales para las 12 accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.) y tres cebadores RAPD. Accesiones: (1) OSP-HOR-12-1048, (2) OSP-HOR-11-479, (3) OSP-HOR-10-995, (4) OSP-HOR-14-727, (5) OSP-HOR-10-989, (6) OSP-HOR-10-991, (7) OSP-HOR-10-988, (8) OSP-HOR-10-399, (9) OSP-HOR-14-726, (10) OSP-HOR-14-981, (11) OSP-HOR-19-1047 y (12) OSP-HOR-19-1046 de la Unidad de Recursos Fitogenéticos INIA-CENIAP.....	22
<b>Figura 6.</b> Frutos de las 12 accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.).....	23
<b>Figura 7.</b> Datos climatológicos para el año 2018 de precipitación (mm), evapotranspiración (mm), temperatura (°C), radiación global (MJ/m <sup>2</sup> /día) y humedad relativa (%)......	29
<b>Figura 8.</b> Número de hojas totales de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	38
<b>Figura 9.</b> Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	41
<b>Figura 10.</b> A) Biomasa seca foliar (g); B) Área foliar (cm <sup>2</sup> ); C) Número de hojas totales	

de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	45
<b>Figura 11.</b> Biomasa seca tallos (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	48
<b>Figura 12.</b> Biomasa seca radical (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	51
<b>Figura 13.</b> A) Biomasa seca de frutos (g); B) Biomasa seca foliar (g); C) Número de hojas de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	54
<b>Figura 14.</b> A) Biomasa seca total (g); B) Biomasa seca foliar (g); C) Biomasa seca radical de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	57
<b>Figura 15.</b> Biomasa seca foliar, tallo, radical, frutos y total (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. A) OSP-HOR-14-726; B) OSP-HOR-10-988; C) OSP-HOR-12-1048, durante el ensayo.....	60
<b>Figura 16.</b> Altura de planta (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	61
<b>Figura 17.</b> Diámetro de tallo (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	65
<b>Figura 18.</b> Índice de clorofila (unidades SPAD) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante el ensayo.....	69
<b>Figura 19.</b> Longitud (A) y diámetro (B) de fruto (cm) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	73
<b>Figura 20.</b> Frutos de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	74
<b>Figura 21.</b> Peso de 100 semillas (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	77
<b>Figura 22.</b> Peso promedio de frutos (g) de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. durante ocho cosechas.....	79
<b>Figura 23.</b> Variación en el índice de crecimiento relativo de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. con la edad y la fase de desarrollo.....	83
<b>Figura 24.</b> Variación en el índice de asimilación neta de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp. con la edad y la fase de desarrollo.....	88
<b>Figura 25.</b> Razón de área foliar de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	91
<b>Figura 26.</b> Razón de peso foliar de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	94

<b>Figura 27.</b> Área foliar específica de tres accesiones de ají <i>Capsicum</i> sp.....	97
<b>Figura 28.</b> Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento UPGMA y distancia genética euclidiana para las tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.), y las variables morfofisiológicas y de rendimiento.....	102
<b>Figura 29.</b> Análisis de coordenadas principales para las tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.), y las variables morfofisiológicas y de rendimiento.....	103
<b>Figura 30.</b> Diagrama del análisis de componentes principales (biplot) de las tres accesiones de ají ( <i>Capsicum</i> sp.) con base a las variables morfofisiológicas y de rendimiento de mayor variabilidad.....	108

## INTRODUCCIÓN

El ají (*Capsicum* sp.) es una hortaliza de la familia Solanácea que se encuentra difundida en los trópicos americanos. Se adapta bien a diferentes condiciones climáticas, siendo más exigente a temperaturas altas que el resto de las solanáceas comerciales. En general, el género *Capsicum* comprende un conjunto de plantas semi-arbustivas perennes, pero de cultivo anual, que alcanzan entre 0,3 y 1,5 m de altura, dependiendo principalmente de la variedad, de las condiciones climáticas y de la fertilización. Las especies cultivadas del Género *Capsicum* se consideran autógamas, sin embargo, existen altos porcentajes de polinización cruzada (Pardey, 2008).

El género *Capsicum* incluye más de 30 especies de las cuales *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens* son domesticados y cultivados. Entre todas las hortalizas, el ají es la segunda más importante a nivel mundial después del tomate, y es la más rica en vitaminas A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, E y D, además el ají confiere un sabor agradable a las comidas; de aquí su importancia en la dieta diaria y su gran demanda en la actividad culinaria debido a que tiene un uso fundamental como consumo fresco en forma de condimento, además, su fragancia y sabor típico lo hacen más preferido que el pimentón en la preparación casera de guisos, salsas y sopas. Es usado en la preparación de salsas envasadas y potencialmente es un producto que se puede deshidratar y moler para aprovecharse como condimento. (Montaño *et al.*, 2000a; FAO, 2006; González *et al.*, 2008; Nkansah *et al.*, 2017; San Juan *et al.*, 2022).

La producción de ají dulce en Venezuela es de gran importancia, muy especialmente en la región Nororiental, específicamente en los estados Monagas, Sucre y Nueva Esparta donde se le considera un elemento casi esencial en la elaboración de las comidas, por su sabor particular. Su cultivo en ésta región es de gran perspectiva, por sus pocas exigencias en cuanto a la estructura de suelo, agua, nutrimentos, alta resistencia a insectos plagas y enfermedades y su gran demanda. Sin embargo, su cultivo se reduce a pequeñas extensiones de terreno, sin aplicaciones tecnológicas y el uso de la práctica tradicional de la siembra conuquera, explicable principalmente por la falta de semillas certificadas en el mercado nacional (Montaño y Nuñez, 2003). Cabe destacar que, Nkansah *et al.* (2017), reseñan que bajo condiciones de invernadero los rendimientos son al menos cuatro o diez veces mayores que los rendimientos del cultivo en condiciones de campo, incluso la

calidad de los frutos es normalmente más alta que los frutos bajo condiciones de campo y suponen que la razón principal es que también dependerá de las características genéticas de algunas variedades. El Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT) reportó que la producción de ají dulce en el año 2011 fue de 72.364 Tn en una superficie de 6.646 Ha, siendo el estado Monagas el de mayor producción, sin embargo, no hay reportes oficiales actualizados. Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó que la producción de ají dulce y pimentón en el año 2021 fue de 146.817,11 Tn y una superficie de 10.126 Ha en Venezuela, siendo éstos valores imputados lo cual indica que son asumidos debido a que no se conocen las cifras reales.

En Venezuela, se cultivan diferentes variedades de ají dulce, a las cuales se les conoce como: Pepón, Llanerón, Oriental y Rosita. Sin embargo, el origen de la pungencia en el ají dulce radica en una sustancia denominada capsicina, la cual ha sido considerada como un mecanismo de defensa de la planta ante el ataque de plagas como ácaros e insectos tales como: trips, moscas blancas, áfidos y otros insectos chupadores. La planta siempre tiene algún nivel de capsicina, pero a medida que éste aumenta, se presentan frutos más picantes dejando el ají de ser dulce y convirtiéndose en ají picante (Hernández, 2014). Sin embargo, el ají picante luce igual que el ají dulce, por lo que no hay garantía de la calidad genética, debido a que a simple vista no se pueden determinar diferencias entre ambos.

Debido a la alta variabilidad genética existente en el cultivo, se hace necesaria la obtención de un material homogéneo, tanto desde el punto de vista del manejo agronómico como culinario, y con la utilización de técnicas biotecnológicas como los marcadores moleculares se puede avanzar en su caracterización, ya que juegan un papel importante dentro de los programas de mejoramiento en cultivos de interés agrícola. Los marcadores moleculares, entre los que se incluyen los de Polimorfismo del ADN Amplificado al Azar – RAPD (Random Amplification of Polymorphic DNA por sus siglas en inglés), constituyen una herramienta útil para el estudio de la diversidad genética entre especies de *Capsicum*. Estos marcadores son un sistema de detección de polimorfismos en la secuencia de ADN, que consiste en la amplificación de ADN con iniciadores pequeños (generalmente de diez nucleótidos de longitud) de secuencias aleatorias no palindrómicas. Son dominantes y la presencia o la ausencia de las bandas entre individuos se debe a cambios en la secuencia (o la pérdida) de los sitios a los que se alinea el iniciador. Las técnicas

moleculares han sido ampliamente utilizadas en la diversidad genética de ají, siendo fácil y relativamente económico de aplicar. (Dávila *et al.*, 2003; Rentarúa, 2007; González *et al.*, 2011; Bobadilla *et al.*, 2017; Larekeng *et al.*, 2019).

Sin embargo, conocer un cultivo a nivel molecular es una herramienta más y es posible adicionar mucha más información sobre su manejo. El crecimiento es un proceso universal y fundamental en la vida terrestre por lo que analizar el crecimiento en las plantas ha tenido un particular interés en la ciencia, así como en la producción biológica incluyendo el área forestal y agrícola (Pommerening y Muszta, 2015). La medición del crecimiento a través de diferentes etapas ayuda a entender los mecanismos del mismo, en el cual participa el crecimiento y la división celular que a su vez constituyen los principales procesos de crecimiento que conlleva a la formación de tejidos, órganos, tamaño y forma de la planta entera y su reproducción (Wuyts *et al.* 2015).

La economía productiva de un cultivo es la suma de todas las interacciones ambientales que afectan a la planta, pero para entender un poco la naturaleza de los controles internos inherentes al cultivo es necesario medir otros parámetros además del de producción. En este sentido, es esencial evaluar el crecimiento en diferentes intervalos de tiempo durante las etapas de desarrollo del cultivo, para ello es imperante realizar mediciones que generan datos de aproximación cuantitativa para la descripción e interpretación de la evolución de las plantas que crecen bajo ambiente natural, seminatural o controlado (Hunt, 2003; Barrera *et al.*, 2010; Charlo *et al.*, 2011). Además, es importante conocer la morfología y la fisiología de los cultivos para comprender su comportamiento ante distintos factores de su entorno, mismos que ayudarán a promover las condiciones más apropiadas para el desarrollo y así obtener mayor rendimiento (San Juan, 2022).

Por lo anteriormente señalado, el presente trabajo busca estudiar la caracterización molecular y evaluar el crecimiento de accesiones de ají provenientes del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA – CENIAP) con la finalidad de darles un valor agregado a la colección existente, debido a que en las últimas décadas éstas instituciones han venido cobrando gran relevancia para la agricultura y la alimentación, así como la gran importancia de la diversidad de recursos genéticos para el desarrollo de la calidad y productividad de los cultivos que son fundamentales para la alimentación humana (Pellegrini y Ballatti, 2017).

## **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar molecular y fisiológicamente accesiones de ají dulce (*Capsicum* sp.) provenientes de la colección del Banco de Germoplasma (INIA – CENIAP).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar molecularmente 12 accesiones de ají dulce provenientes de la colección del Banco de Germoplasma (INIA – CENIAP) mediante el uso de marcadores moleculares de tipo RAPD.
- Caracterizar el crecimiento de tres accesiones de ají dulce (*Capsicum* sp.) desde el trasplante hasta la cosecha mediante mediciones de acumulación de biomasa seca y área foliar en condiciones de invernadero.
- Analizar el crecimiento de tres accesiones de ají dulce mediante el uso de índices que permitan estimar la eficiencia de las plantas a fin de que los mismos pudieran ser utilizados como criterios de selección en programas de mejoramiento.
- Identificar las variables morfofisiológicas que pudieran ser utilizadas dentro de un programa de mejoramiento genético o pre-mejora.

## CAPÍTULO I

### CARACTERIZACIÓN MOLECULAR CON MARCADORES DE TIPO RAPD

#### Revisión de literatura

El centro de origen de todas las variedades de ají, está ubicado en las regiones tropicales y sub-tropicales de América; los indígenas las utilizaban desde hace 7.000 años. Cristóbal Colón introdujo el ají a Europa a finales del Siglo XV y su cultivo se extendió rápidamente a países de Asia y África (Fonnegra y Jiménez, 2007). Sin embargo, Villota-Cerón *et al.* (2012), señalan de manera más específica, que el género *Capsicum* es originario del continente americano (Bolivia, Perú, Sur de México y Colombia), no obstante, su distribución natural se extiende desde el Sur de los Estados Unidos hasta Argentina. Es importante destacar que, México es el país con la mayor variabilidad genética de *Capsicum* a nivel mundial, y en gran parte se debe a la diversidad de climas, suelo y manejo humano (Peña, 2020).

Botánicamente, el género *Capsicum* pertenece a la familia Solanáceae y comprende un conjunto de plantas semi-arbustivas perennes, pero de cultivo anual que alcanzan entre 0,3 y 1,5 m de altura, dependiendo principalmente de la variedad, de las condiciones climáticas y de la fertilización. La inflorescencia está constituida por flores hermafroditas, pentálobuladas con cinco anteras soldadas y un estigma. La longitud del estilo puede variar de acuerdo con la variedad o especie. En los tipos silvestres el estilo es más largo que los estambres, longistilas; mientras que en las domesticadas, es usualmente más corto, brevistilas. Las especies cultivadas se consideran autógamas; sin embargo, existen altos porcentajes de polinización cruzada (Nuez *et al.*, 1996; Barboza *et al.*, 2022).

Existen dos grandes tipos de ají, los que son dulces y los picantes. Estos varían en forma, tamaño, color y sabor. De manera general, se puede decir que el fruto del pimiento es una baya, de color verde y a medida que va madurando se vuelve amarillo, anaranjado o rojo, dulce o picante, brillante, carnosa y hueca en su interior, de formas variadas, generalmente cónicos y alargados. La pared del fruto puede ser gruesa, mediana o delgada. Se caracteriza por su pungencia o astringencia, debido a un alcaloide (metabolito secundario) denominado capsaicina o capsicina ( $C_{18}H_{27}O_3$ ). En algunos tipos es abundante y en otros es escasa. Posee un elevado valor nutritivo,

principalmente vitaminas A, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, E y D, así como una elevada cantidad de antioxidantes (componentes que previenen desordenes cardiovasculares, cánceres y cataratas) (FAO, 2006; Hartanto, 2016; Nkansah *et al.*, 2017).

El ají se cultiva con la finalidad de consumir los frutos, los cuales dan un agradable sabor a las comidas, razón por la cual tiene una alta demanda. En Venezuela, éste cultivo es un rubro de importancia económica, cuyo producto es ofrecido, comúnmente al consumidor en el mercado local. Es un cultivo que es muy promisorio por su alto rendimiento y la alta demanda que tiene en los estados Anzoátegui, Bolívar, Sucre, Monagas y Nueva Esparta, lo cual lo hace rentable (Montaño *et al.*, 2000b).

### **Identificación del polimorfismo a través de marcadores moleculares de tipo RAPD**

Las poblaciones de *Capsicum* muestran semejanza con su morfometría por lo que se han caracterizado con base en descriptores morfológicos y agronómicos y en la mayoría de los casos la identificación de germoplasma se basa normalmente en dichas descripciones visuales de parámetros morfológicos, es decir, forma de la hoja, longitud del fruto, color del fruto y forma del fruto, etc.; sin embargo, con el advenimiento de las herramientas biotecnológicas, diversas estrategias de análisis genético están disponibles y se han aplicado en el estudio de tan importante recurso fitogenético (Subba *et al.*, 2014; Pérez-Castañeda *et al.*, 2015).

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA (2006), señaló que las técnicas de ADN recombinante hacen posibles los programas de mejoramiento genético en plantas y animales, mediante el llamado mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares. Ésta herramienta permite seleccionar plantas o animales que posean segmentos específicos de ADN asociados a genes de interés agronómico. De este modo, es factible la selección precoz de individuos superiores en aquellos casos en que el carácter de interés es de difícil identificación o que se manifieste muy tarde en la vida de las plantas. Por otra parte, estas técnicas permiten la identificación inequívoca de variedades, por lo tanto, permiten no sólo identificar variedades o genotipos, sino también determinar el grado de parentesco entre especies y variedades, información de gran importancia para el mejoramiento genético y para los estudios de diversidad genética.

Los marcadores moleculares, entre los que se incluyen los RAPD (Polimorfismo del ADN Amplificado al Azar) son útiles para el desarrollo de huellas moleculares “fingerprints” de ADN cuando se requiere identificar variedades dentro de una especie, determinar parentesco de un material y caracterizar genéticamente el mismo. Los marcadores RAPD pueden determinar las relaciones entre los individuos, son relativamente económicos y relativamente fáciles de usar; sin embargo, presentan limitaciones, tales como, la reproducibilidad y la naturaleza dominante del marcador. No obstante, pueden proporcionar información importante en programas de conservación de plantas, así como, darles la capacidad a los investigadores de determinar la identidad, la pureza y la estabilidad de los cultivares, lo cual puede ser utilizado para proteger los derechos de los obtentores y las instituciones de investigación. La optimización de los análisis con RAPD depende de la selección de los *primers*, sin embargo, el uso de secuencias de iniciadores arbitrarias permite que muchos de estos iniciadores puedan ser usados en estudios de *screening* con la intención de seleccionar iniciadores que generen amplificaciones útiles a futuro (Moses y Umaharan, 2012; Porter *et al.*, 2012; Prasad, 2014).

Esta metodología RAPD es una técnica molecular basada en la amplificación enzimática (PCR, reacción en cadena de la polimerasa) de fragmentos de ADN definidos en el genoma, usando como único iniciador (*primer*) un decanucleótido de secuencia arbitraria (Chavarro y Ángel, 2006). En este mismo orden de ideas, los marcadores RAPD se utilizan para determinar rápida y fácilmente la diversidad genética de líneas mejoradas, de material vegetal dentro de la población y entre diferentes especies, genera información importante para la maximización de rendimiento, calidad, amplia adaptación, así como también son una herramienta útil en el análisis genético de la resistencia a las enfermedades específicas de los cultivos vegetales, así como colección de germoplasma en general (Pavlovic *et al.*, 2012; Raza *et al.*, 2018).

Paran (1998), señaló que la evolucionaria relación entre y dentro de especies cultivadas ha sido investigada en muchos estudios, usando marcadores morfológicos, citogenéticos y moleculares, y en ese sentido, Larekeng *et al.* (2019), señalaron que las técnicas moleculares han sido ampliamente utilizadas en la diversidad genética en *Capsicum*, siendo uno de los marcadores moleculares utilizados en esos análisis, el marcador RAPD. De tal manera que, estos estudios demostraron que el nivel de variación entre ajíes domesticados es bajo en comparación con ajíes silvestres. Por su parte, Renganathan *et al.* (2017), hace referencia al hecho de que cinco

especies domesticadas han sido mundialmente reconocidas en las que se incluyen *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. baccatum* Jacq., y *C. pubescens*. Siendo *C. annuum* el más popular e importante de las especies, seguido por *C. frutescens*. Algunas variedades son famosas por su color rojo en los frutos debido al pigmento capsantina, otras son conocidas por su pungencia atribuido al contenido de capsicina. Es por esta razón, que los RAPD constituyen una herramienta útil para el estudio de la diversidad genética entre especies de *Capsicum* con fines de mejoramiento, debido a que son una técnica poderosa en la identificación de variaciones en la secuencia de ADN entre individuos (González *et al.*, 2011).

Con base a esto, Farinango (2007), caracterizó molecularmente 71 accesiones de ají (*Capsicum* spp.) y 25 accesiones de calabazas (*Cucurbita* spp.) proveniente del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en Ecuador, con la finalidad de evaluar la diversidad genética para ambos cultivos.

Moses y Umaharan (2012), señalaron que *C. chinense* es una de las especies de ají de mayor importancia a nivel comercial cultivadas en el Caribe, sin embargo, a diferencia de *C. annuum*, que ha sido la especie domesticada más explotada internacionalmente, *C. chinense* no ha sido recolectada metódicamente ni ha sido caracterizada con fines de mejoramiento genético, en tal sentido, dirigieron una investigación en la cual los objetivos fueron evaluar la diversidad de *C. chinense* y su estructura dentro de la cuenca del Caribe y determinar su relación filogenética con grupos dentro de América del Sur mediante el uso de marcadores tipo RAPD, asegurando que los mencionados marcadores moleculares también pueden facilitar la gestión eficaz de las colecciones de *C. chinense* por la eliminación de duplicados y contribuirán con el establecimiento de una colección núcleo.

Jiménez (2014) realizó una caracterización morfológica y molecular de ají (*Capsicum* spp.) en Venezuela bajo condiciones de campo. Obteniendo que las variables más relacionadas fueron: longitud de la hoja y ancho de la hoja, ancho del fruto y peso del fruto, longitud del fruto y peso del fruto, forma del fruto y ancho del fruto, y en el dendrograma observó la formación de cinco grupos principales divididos en subgrupos. Entre los 25 cultivares estudiados el C19 obtuvo el mayor tamaño y peso del fruto, C12 obtuvo el tamaño y peso menor del fruto. Con respecto a la caracterización molecular de 15 cultivares, el agrupamiento generado por las bandas polimórficas

mostró variabilidad entre los cultivares evaluados, formándose 3 grupos principales divididos en subgrupos.

Por su parte, Bobadilla *et al.* (2017), realizaron un estudio en México con el objetivo de analizar variedades de *C. annuum* de polinización libre y variedades criollas entre sí, mediante marcadores RAPD (polimorfismo del ADN amplificado al azar) para la detección de polimorfismos. Utilizaron seis variedades de *C. annuum* del tipo “ancho” y “mirasol”, encontrando poca variabilidad entre las seis variedades de *C. annuum* y el dendograma mostró dos agrupaciones principales. Renganathan *et al.* (2017), en su investigación estudiaron la relación genética de 22 especies de *Capsicum* spp., para estimar sus variaciones o similitudes y detectar el polimorfismo presente dentro y entre las accesiones del germoplasma conservado en el Instituto Indio de Investigaciones de Especies, utilizando los marcadores moleculares de tipo RAPD. El dendograma reveló que hubo similitud dentro y entre la mayoría de las accesiones evaluadas.

Olszewska *et al.* (2018), utilizaron los marcadores de tipo RAPD para detectar polimorfismo entre veinticinco plantas de ají relacionadas estrechamente obtenidas a través de cultivo in vitro de anteras, mismas que provenían de un híbrido interespecífico F1 (*C. annuum* L. ATZ1 × *C. frutescens* L.). Los resultados demostraron la existencia de una variación genética entre los haploides obtenidos, que ilustraron la diversidad genética de las microsporas que se desarrollan en cultivos de anteras híbridas.

Los marcadores de tipo RAPD han sido de gran utilidad en otros cultivos demostrando, una vez más, que tienen el potencial de identificar y caracterizar las variaciones genéticas entre variedades de una especie y/o género (Gutiérrez y Rincón, 2011; Vegas *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2018; Raza *et al.*, 2018).

Otros estudios han sido realizados con el fin de estimar a nivel molecular, la divergencia de las líneas parentales de cebolla que se utilizaron en cruzamientos dialélico para la producción de nuevas líneas superiores en el Instituto de las Hortalizas en Serbia, en el cual el análisis molecular usando cinco marcadores RAPD para cinco pares de padres fue realizado, dando una idea de su polimorfismo genético y la posibilidad de su uso posterior en programas de mejoramiento. Incluso en especies ornamentales estos marcadores también han aportado información valiosa, tal es el caso del estudio de la variabilidad genética de nueve especies de *Cattleya* spp. colectadas en

Venezuela; así como, la caracterización molecular y determinación de la diversidad genética de especies de *Hibiscus* (*Hibiscus rosasinensis*) con el objetivo de encontrar la relación genética de nueve variedades provenientes del Jardín Botánico Lalbagh en India. (Pavlovic *et al.*, 2012; Angulo *et al.*, 2013; Prasad, 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del ensayo

Los análisis moleculares se realizaron en el Laboratorio de Genética Molecular del Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), adscrito a la Coordinación de Investigaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Maracay.

### Material vegetal

Se utilizaron plántulas establecidas de 12 accesiones de ají dulce (*Capsicum* sp.) (Cuadro 1) del Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP, Maracay.

**Cuadro 1.** Accesiones de ají (*Capsicum* sp.) del Banco de Germoplasma del INIA-CENIAP.

Accesiones	Procedencia		Latitud	Longitud	Altitud
	Localidad	Estado			
1. OSP-HOR-12-1048	Cumaná	Sucre	10°27'14' 'N	64°27'57' 'O	4 m s.n.m.
2. OSP-HOR-11-479	Colonia Tovar	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
3. OSP-HOR-10-995	Maracay	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
4. OSP-HOR-14-727	Margarita	Nueva Esparta	11°01'39' 'N	63°51'46' 'O	167 m s.n.m.
5. OSP-HOR-10-989	Maracay	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
6. OSP-HOR-10-991	Colonia Tovar	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
7. OSP-HOR-10-988	Colonia Tovar	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
8. OSP-HOR-10-399	Colonia Tovar	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
9. OSP-HOR-14-726	Margarita	Nueva Esparta	11°01'39' 'N	63°51'46' 'O	167 m s.n.m.
10. OSP-HOR-14-981	Maracay	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
11. OSP-HOR-19-1047	Maracay	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.
12. OSP-HOR-19-1046	Maracay	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m.

Fuente: Unidad de Recursos Fitogenéticos, INIA-CENIAP (2018).

## Obtención del ADN

El material vegetal consistió en tejido foliar joven sin daños mecánicos y libre de enfermedades de 12 accesiones de ají dulce (*Capsicum* sp.) sembradas en bolsas de polietileno y colectado a los 40 días después de la germinación y emergencia. Las plántulas estuvieron ubicadas en el invernadero de la Cátedra de Fisiología Vegetal del Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Campus Maracay. El tejido vegetal fue transportado al Laboratorio de Genética Molecular del CIBA, en una cava térmica con hielo.

La extracción del ADN se realizó siguiendo la metodología descrita por Dellaporta *et al.* (1983), con algunas modificaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, Colombia), macerando el tejido foliar en mortero con nitrógeno líquido. En cada tubo se colocó el tejido de cada muestra pulverizado (200 mg) y 940  $\mu$ L de tampón de extracción (100 mM Tris HCl, pH 8,0; 50 mM EDTA, pH 8,0; 500 mM NaCl; 1,25% SDS).

Los tubos fueron incubados a 65°C durante 45 minutos, con agitación cada 5 minutos. Luego se agregó acetato de sodio 5 M (frío) y se mezcló suavemente e incubó sobre hielo por 30 minutos. Los tubos fueron centrifugados a 8.000 rpm por 10 minutos y el sobrenadante se transfirió a un tubo nuevo con 500 $\mu$ L de cloroformo: alcohol isoamílico (24:1), se mezcló por inversión de los tubos y fueron centrifugados en las mismas condiciones antes mencionadas. El sobrenadante se transfirió a un tubo nuevo con 500  $\mu$ L de isopropanol frío. Los tubos se dejaron toda la noche a -20°C. Al siguiente día, los tubos se centrifugaron a 10.000 rpm durante cinco minutos; se descartó cuidadosamente el sobrenadante y el pellet de ADN fue lavado dos veces con etanol 70%. Se dejaron secar los tubos a temperatura ambiente y el ADN fue hidratado en 50  $\mu$ L de tampón TE (50 mM Tris HCl; 0,7 M NaCl; 10 mM EDTA) y almacenados a -20°C hasta su uso.

La integridad y concentración del ADN se determinó en gel de agarosa 1% con bromuro de etidio. Se utilizó un marcador de tallas "DNA STEP" 25 pares de bases (pb) como marcador. Se realizó la electroforesis horizontal en una cámara modelo FB-SB-1316 (Fisher Scientific, USA) a 80 V durante 45 minutos en tampón TBE 0,5X (250 mM Tris HCl; 30 mM ácido bórico y 42 mM EDTA). El gel fue visualizado y foto documentado en el analizador de imagen modelo D55 (UVitec, Cambridge, Reino Unido).

## Evaluación molecular

Se evaluaron 19 marcadores moleculares de tipo RAPD (Operon Technologies Inc, Alameda, California, USA) (Cuadro 2), con la finalidad de obtener sus patrones de bandas producto de la amplificación PCR-RAPD (William *et al.*, 1990).

**Cuadro 2.** Secuencia de bases de los marcadores moleculares (RAPD) utilizados en la PCR.

Cebador	Secuencia (5'→3')	Cebador	Secuencia (5'→3')
OPC-01	TTCGAGCCAG	OPC-17	TTCCCCCAG
OPC-02	GTGAGGCGTC	OPC-19	GTTGCCAGCC
OPC-05	GATGACCGCC	OPC-20	ACTTCGCCAC
OPC-07	GTCCCGACGA	OPA-02	TGCCGAGCTG
OPC-09	CTCACCGTCC	OPA-07	GTCCCGACGA
OPC-10	TGTCTGGGTG	OPA-09	GGGTAACGCC
OPC-11	AAAGCTGCGG	OPA-13	CAGCACCCAC
OPC-12	TGTCATCCCC	OPE-03	GTGACATGCC
OPC-13	AAGCCTCGTC	OPE-04	CCAGATGCAC
OPC-14	TGCGTGCTTG		

La PCR-RAPD fue realizada con algunas modificaciones realizadas por Angulo *et al.* (2013): la mezcla de la reacción de la PCR consistió de tampón 1X; 2,5 mM MgCl<sub>2</sub>; 0,66 mM de cada dNTP (PROMEGA); 0,66 mg.µL<sup>-1</sup> BSA (suero de albúmina bovina, PROMEGA); 1,33 uM del iniciador; 0,13 U.µL<sup>-1</sup>Taq polimerasa (PROMEGA) y 15ng.µL<sup>-1</sup> de ADN, para un volumen final de 15 µL. La amplificación se realizó en un termociclador PTC 100 (BIO-RAD; California, USA) en las siguientes condiciones: desnaturalización inicial a 94°C por 5 minutos; seguida por 45 ciclos de amplificación a 94°C por 1 minutos, hibridación a 36°C por 30 segundos, extensión a 72°C por 2 minutos; y un ciclo final de extensión a 72°C por 7 minutos.

La separación de los productos de PCR-RAPD se realizó en geles de agarosa 1,5% con bromuro de etidio 0,00002%, como agente que se intercala entre las bases del ADN, durante 2 horas y media a 80V. Los geles se visualizaron y foto documentado en el analizador de imagen modelo D55 (UVitec, Cambridge, Reino Unido).

## **Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos de las amplificaciones de ADN de los 12 materiales, se generó una matriz de presencia ( $p = 1$ ) y ausencia ( $a = 0$ ) por cada banda detectada en los genotipos estudiados y para cada marcador RAPD. La matriz obtenida se analizó con el programa estadístico PAST 3.16 (Hammer *et al.*, 2001) y fue utilizada para el cálculo de varios índices que reflejan la diversidad genética: (1) Porcentaje de polimorfismo y (2) el Contenido de información polimórfica (PIC).

El PIC mide la habilidad que tiene un cebador para detectar polimorfismo y permite determinar cuál de los marcadores moleculares utilizados presentó la mayor discriminación en el estudio genético de caracterización molecular entre las accesiones de ajíes. Para calcular los valores de PIC se utilizó la ecuación  $PIC = 1 - (p^2 + q^2)$ , en la que se consideró la frecuencia de las bandas presentes como  $p$  y la frecuencia de bandas ausentes como  $q$ . Dicha ecuación consideró el polimorfismo basado en las frecuencias de individuos homocigotos para el equilibrio de Hardy – Weinberg, principalmente se utiliza en los marcadores dominantes (RAPD). A diferencia de la ecuación  $PIC = 1 - \sum p_i^2$ , que toma en cuenta la frecuencia de individuos heterocigotos, para marcadores codominantes como, por ejemplo, los microsátélites (Serrote *et al.*, 2019).

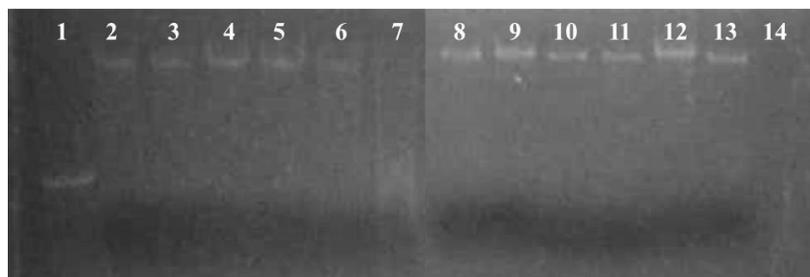
Posteriormente, con la misma matriz se determinaron: (3) los Índices de similitud de Jaccard, para realizar el análisis multivariado de conglomerados jerárquicos, utilizando el método de la distancia promedio no ponderada (UPGMA, por sus siglas en inglés), para generar un árbol de clasificación jerárquica ascendente de agrupamiento (4) Dendrograma. Se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2002), para estimar (5) el Coeficiente de correlación cofenética (CCC), para indicar la correlación entre las distancias definidas por la métrica de árbol binario, con las distancias originales entre las accesiones evaluadas. Se utilizó la escala de los valores del CCC, propuesta por Sokal y Rohlf (1962), para inferir la similitud de la estructura jerárquica entre las 12 accesiones ajíes de la evaluación molecular:  $>0,9$  (ajuste perfecto); entre  $0,7- 0,9$  (ajuste intermedio) y  $< 0,7$  (bajo ajuste) en la distribución de la estructura jerárquica. El CCC permitió describir el agrupamiento natural de los datos y el programa InfoStat provee automáticamente ese valor, a fin de seleccionar el agrupamiento definitivo. Finalmente, se realizó el (6) Análisis de componentes principales (ACP).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.).

#### Obtención de ADN en tejido foliar

La integridad de los ADN por el método Dellaporta *et al.* (1983), fue corroborada mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% (Figura 1).

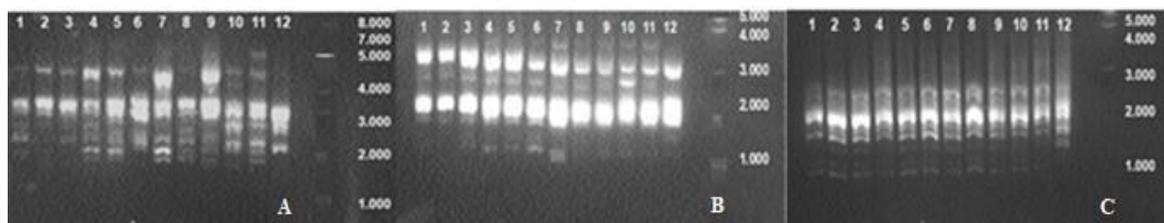


**Figura 1.** Visualización de la integridad y cantidad del ADN de 12 accesiones de ají (*Capsicum* sp.) en gel de agarosa al 1%: (1) Marcador 25pb; (2 al 13) accesiones de ajíes; (14) vacío.

En la mayoría de los ADN extraídos se observó una banda íntegra, de apariencia nítida luminosa, no degradado y sin la aparente visualización de ARN. Las concentraciones obtenidas en las 12 accesiones estuvieron entre 15 - 150 ng.μL<sup>-1</sup>.

#### Evaluación molecular

Los resultados del ADN amplificado obtenidos mediante la PCR-RAPD se presentan en las siguientes imágenes. De los 19 cebadores utilizados, solamente se observó la mejor resolución en sus productos de amplificación en tres de ellos: OPA-02, OPE-03 y OPE-04. Estos tres cebadores fueron de mejor poder para discriminar las diferencias genéticas entre las 12 accesiones de ajíes (Figura 2).



**Figura 2.** Amplificación PCR-RAPD de 12 accesiones de ajíes (*Capsicum* sp.), en gels de agarosa al 1,5%. A: Perfiles electroforéticos OPA-02. B: OPE-03. C: OPE-04. Carriles 1-12:

Accesiones: (1) OSP-HOR-12-1048, (2) OSP-HOR-11-479, (3) OSP-HOR-10-995, (4) OSP-HOR-14-727, (5) OSP-HOR-10-989, (6) OSP-HOR-10-991, (7) OSP-HOR-10-988, (8) OSP-HOR-10-399, (9) OSP-HOR-14-726, (10) OSP-HOR-14-981, (11) OSP-HOR-19-1047 y (12) OSP-HOR-19-1046; (13) vacío y (14) marcador 1kb.

A partir de la información de los geles de agarosa (Figura 2) se elaboró la matriz de presencia y ausencia; se identificaron aquellas bandas monomórficas (presentes en todas las accesiones) y las polimórficas (presentes en al menos una accesión, pero no en todas).

### Porcentaje de polimorfismo

Los cebadores OPA-02, OPE-03 y OPE-04 mostraron un total de 39 bandas amplificadas, de las cuales 14 bandas fueron del OPA-02, 14 bandas del OPE-03 y 11 bandas del OPE-04. Sin embargo, de las 39 bandas obtenidas, sólo 27 fueron polimórficas. En cuanto al porcentaje de polimorfismo, el OPA-02 presentó un valor de 71,43%; el OPE-03 un valor de 78,57%, y el OPE-04 42,86%. Otros datos informativos aportados por dichos cebadores fueron: rango de productos amplificados osciló entre 1.045 – 5.772 pares de bases (pb) aproximadamente; el número total de fragmentos amplificados, contabilizado para cada cebador fue 301 (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cebadores RAPD utilizados en la caracterización molecular con sus respectivas secuencias y el número de bandas polimórficas generadas, porcentaje (%) de polimorfismo y el PIC, en el estudio de caracterización molecular de 12 de accesiones de ají *Capsicum* sp.

Cebador	Secuencia (5'→3')	Número de bandas	Bandas polimórficas	Polimorfismo (%)	Rango (pb)	N°	PIC
					Productos amplificados	Fragmentos amplificados	
<b>OPA 02</b>	TGCCGAGCTG	14	10	71,43	1.453-5.772	113	0,30
<b>OPE 03</b>	CCAGATGCAC	14	11	78,57	1.093-3.772	96	0,34
<b>OPE 04</b>	GTGACATGCC	11	6	42,86	1.045-2.895	92	0,13
<b>Total</b>		39	27			301	
<b>Promedio N° bandas/cebador</b>		13	9				
<b>% Polimorfismo</b>		69,23					
<b>Coficiente de correlación cofenética (CCC) 0,931</b>							

Al comparar los tres cebadores, el OPE-03 fue el más informativo debido a que aportó el mayor número de bandas polimórficas (78,57% de polimorfismo), siendo éste el valor más alto con respecto al resto de cebadores. Rana *et al.* (2014), estimaron la diversidad genética entre 24 genotipos *C. annuum*, mediante RAPD y de los 30 cebadores utilizados, solo 18 pudieron amplificar el ADN genómico. Dentro de ese grupo de cebadores utilizaron el OPE-03, generando un total de cuatro bandas, de las cuales tres fueron monomórficas y una polimórfica (25% de polimorfismo). Al comparar esos resultados con los obtenidos por el mismo cebador en el presente

análisis molecular, se puede notar que el número de bandas fue considerablemente mayor (14), así como el número de bandas polimórficas (11) y el % de polimorfismo (78,57%). Ésta información fue muy valiosa considerando que fue obtenida por el mismo cebador, en el Género *Capsicum*, lo que promueve su incorporación en estudios de caracterización molecular.

Bobadilla *et al.* (2017), señalaron que de los tres cebadores utilizados para identificar seis variedades de *C. annuum*, el OPA-02 amplificó un total de 11 bandas, de las cuales cinco fueron polimórficas, siendo el más informativo de todos los cebadores, con un 45,45% de polimorfismo. Estos resultados difieren un poco de los obtenidos en el presente estudio, porque el OPA-02 no fue el más informativo, pero al hacer las comparaciones, éste cebador presentó un mayor número de bandas (14), mayor número de bandas polimórficas (10) y un valor superior del porcentaje de polimorfismo (71,43%). Esto indicó que el cebador OPA-02 generó un contenido informativo para estudios de la evaluación molecular.

Es importante destacar en años anteriores, González *et al.* (2011), estudiaron la variabilidad molecular de nueve genotipos de pimiento (*C. annuum*) procedentes de un programa de mejoramiento genético, para la resistencia al virus Y de la papa (Potato virus Y – PVY), mediante RAPD, los autores utilizaron seis cebadores de la serie OPA y el OPA-02 generó un total de cinco bandas, de las cuales dos bandas fueron polimórficas (40% de polimorfismo), siendo éstos resultados menores a los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, es importante resaltar que, dentro del grupo de cebadores utilizados en su investigación, el OPA-02 fue uno de los cebadores que aportó menor información para el número de bandas y el porcentaje de polimorfismo, en comparación a los otros cebadores.

En la investigación de Orenthung *et al.* (2013), evaluaron 16 variedades locales de *Capsicum*, para estudiar la diversidad genética inter e intraespecífica, mediante 20 cebadores de la serie OPA, pero sólo obtuvieron productos de amplificación en 16 de ellos, para un total de 114 bandas. Entre ellos, utilizaron el OPA-02 y aportó un total de ocho bandas, de las cuales todas fueron polimórficas (100% de polimorfismo).

En este sentido, Patel (2015), evaluó la variabilidad genética intraespecífica en ocho variedades de *C. annuum*, utilizando 15 RAPD de la serie OPA (entre ellos el OPA-02), reportando que ocho cebadores fueron polimórficos, y generaron 89 bandas polimórficas en total. De igual manera, Orenthung *et al.* (2013), el OPA-02 aportó un total de ocho bandas, todas polimórficas (100% de

polimorfismo). Éstos resultados son muy similares a los obtenidos en la presente investigación, especialmente por el número total de bandas obtenidas y por el porcentaje de polimorfismo.

Con base a todas las investigaciones presentadas previamente, se evidenció en el cebador OPA-02 la mayor información que permitió evaluar la variabilidad y el polimorfismo genético en especies cultivadas del Género *Capsicum*.

### **Contenido de Información Polimórfica (PIC)**

Los valores del PIC de cada uno de los tres cebadores permitieron indicar la habilidad de los RAPD en detectar polimorfismo entre los materiales de ajíes estudiados. Es decir, mientras mayor sea su capacidad discriminatoria, mayor será su valor de información polimórfica. Para conocer esta capacidad, se utilizó el rango de clasificación e interpretación del PIC para marcadores dominantes, como los RAPD. En ese sentido, Serrote *et al.* (2019) propusieron la siguiente clasificación: bajo (0 a 0,10), medio (0,10 a 0,25), alto (0,30 a 0,40) y muy alto (0,40 a 0,50). Desde este punto de vista, los cebadores OPA-02, OPE-03 y OPE-04 mostraron valores de PIC: 0,30, 0,34 y 0,13, respectivamente. Por lo tanto, fueron considerados los dos primeros cebadores con un valor alto; mientras que el último cebador, con un valor medio, para la información molecular. Éstos resultados denotan que los cebadores OPA-02, OPE-03 y OPE-04 poseen un importante poder de discriminación entre las doce accesiones de ajíes.

En este sentido, Orenthung *et al.* (2013), y Patel (2015), reportaron valores de PIC para el OPA-02, como alto y muy alto, respectivamente. Evidenciando, la importancia de este cebador en el género *Capsicum*. Resultados similares fueron obtenidos por Rana *et al.* (2014), reportando un valor alto de PIC de 0,39 para el cebador OPE-03, es decir, fue un cebador que aportó un importante contenido polimórfico. Ésta información fue muy útil para el presente estudio, porque confirma en el cebador OPE-03, como el que presentó mayor información molecular para: el % de polimorfismo y su valor alto de PIC, lo que deja claro su poder de discriminación dentro de los marcadores RAPD utilizados.

Es importante señalar que, en la revisión de la literatura en los últimos cinco años, no se encontró ninguna información sobre el uso del cebador OPE-04 relacionado a *Capsicum* sp., siendo los resultados en esta investigación muy informativos para ese cebador. En ese sentido, dicho cebador fue un gran aporte científico en los estudios de variabilidad genética en especies cultivadas del Género *Capsicum*.

### Índice de similitud de Jaccard

A partir de la información obtenida de la matriz binaria de los patrones de bandas generados por los tres cebadores, se obtuvo los índices de similitud y distancias genéticas entre las 12 accesiones de ajíes, mediante la distancia de Jaccard (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Índices de similitud y distancia genética entre las 12 accesiones de ají *Capsicum* sp., basados en la distancia genética de Jaccard.

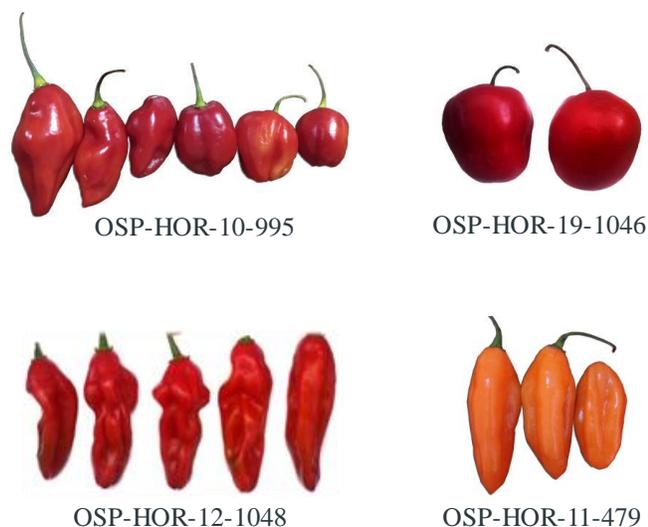
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,00											
2	<b>0,77</b>	1,00										
3	0,62	0,64	1,00									
4	0,40	0,32	0,35	1,00								
5	0,35	0,26	0,38	0,53	1,00							
6	0,23	0,20	0,16	0,32	0,33	1,00						
7	0,08	0,10	0,11	0,08	0,17	0,23	1,00					
8	0,18	0,15	0,11	0,17	0,13	0,23	0,18	1,00				
9	0,13	0,09	0,16	0,16	0,22	0,22	0,35	0,42	1,00			
10	0,04	0,05	0,05	0,08	0,17	0,23	0,18	0,24	0,42	1,00		
11	0,13	0,05	0,05	0,17	0,13	0,29	0,18	0,37	0,42	0,53	1,00	
12	0,04	0,04	<b>0,00</b>	0,03	0,12	0,16	0,12	0,22	0,16	0,33	0,22	1,00

Accesiones: 1) OSP-HOR-12-1048, 2) OSP-HOR-11-479, 3) OSP-HOR-10-995, 4) OSP-HOR-14-727, 5) OSP-HOR-10-989, 6) OSP-HOR-10-991, 7) OSP-HOR-10-988, 8) OSP-HOR-10-399, 9) OSP-HOR-14-726, 10) OSP-HOR-14-981, 11) OSP-HOR-19-1047, 12) OSP-HOR-19-1046.

Los valores de los coeficientes de similitud y distancias genéticas calculados estuvieron entre 0,00 hasta 0,77; lo que indicó la existencia de variabilidad genética dentro de las doce accesiones evaluadas. En este sentido, se puede observar, que el valor más bajo de similitud fue 0,00 entre las accesiones OSP-HOR-10-995 y OSP-HOR-19-1046. Esto puede ser explicado posiblemente, porque la accesión OSP-HOR-19-1046 pertenece a otra especie dentro del género *Capsicum*, debido a sus diferencias morfológicas para sus frutos. La accesión OSP-HOR-19-1046 posee frutos de forma redondeados, consistencia firme, color rojo oscuro, picante y sus semillas son de color oscuro tendiendo a negro. A diferencia de la accesión OSP-HOR-10-995, sus frutos son moderadamente alargados, huecos en su interior, color rojo opaco, dulce y sus semillas son pequeñas y color crema.

Por otra parte, se observó que el valor más alto de similitud fue 0,77 entre las accesiones OSP-HOR-12-1048 y OSP-HOR-11-479. Esto pudo deberse a que en ambos genotipos sus frutos son

de alargados, de forma hueca en su interior, dulce y sus semillas son pequeñas y color crema. Sin embargo, la forma de los frutos de la accesión OSP-HOR-12-1048 es más alargada y de color rojo, mientras que los de la accesión OSP-HOR-11-479 son anaranjados (Figura 3).

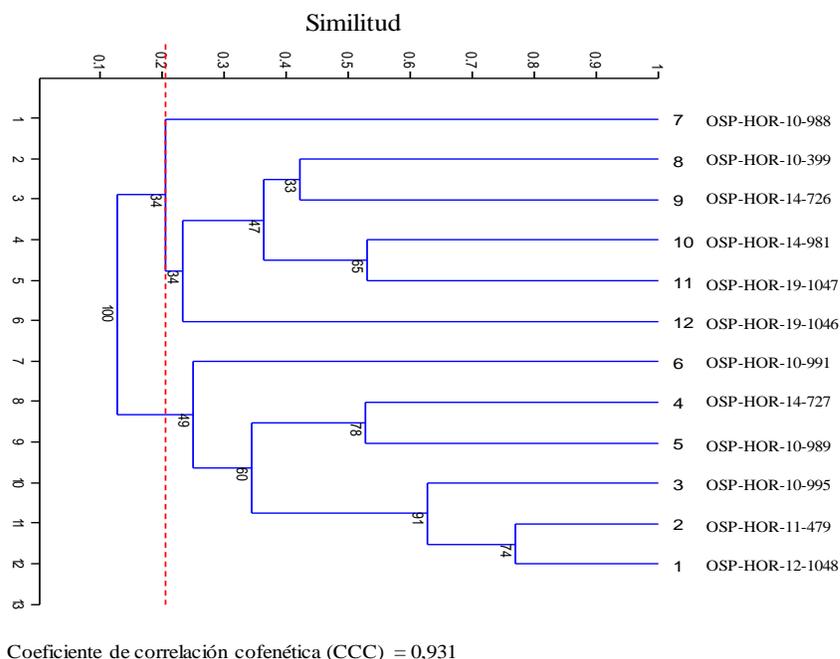


**Figura 3.** Comparación de accesiones de ají que presentaron valores de similitud bajo y alto de acuerdo los resultados del índice de similitud y distancia genética de Jaccard.

Los valores de similitud de Jaccard muy similares fueron reportados por Jiménez (2014), en 15 cultivares de ají (*Capsicum* sp.) entre 0,17 a 0,69. Al considerar los valores presentados por Patel (2015), oscilaron entre 0,21 a 0,894. En ambas investigaciones se concluyó la alta variabilidad genética en el género *Capsicum*.

#### **Análisis multivariado (Dendrograma)**

El análisis de agrupamiento se realizó con la matriz de índices de similitud y distancia genética, con la finalidad de obtener el conglomerado jerárquico, en función a la distancia Jaccard y la representación gráfica de los resultados en el dendrograma. De acuerdo con la información aportada por el dendrograma, se observó la formación de dos grupos discriminantes, utilizando el método de la regla fija a 0,20 de similitud (Figura 4).



**Figura 4.** Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento UPGMA y distancia genética de Jaccard para las 12 accesiones de ajíes (*Capsicum* sp.) de la Unidad de Recursos Fitogenéticos INIA-CENIAP y tres cebadores RAPD (OPA-02, OPE-03 y OPE-04).

El primer grupo estuvo conformado por seis accesiones: OSP-HOR-10-988, OSP-HOR-10-399, OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-14-981, OSP-HOR-19-1047 y OSP-HOR-19-1046. Este grupo a su vez se subdividió en tres subgrupos:

- **Primer subgrupo:** Se conformó por la accesión OSP-HOR-10-988, con una distancia de similitud de 0,20. Ésta accesión fue caracterizada en la Unidad de Recursos Fitogenéticos (URF) INIA-CENIAP como un ají dulce.
- **Segundo subgrupo:** Por tres accesiones OSP-HOR-10-399, OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-14-981, OSP-HOR-19-1047, con una distancia de similitud de 0,34. Es importante señalar que la accesión OSP-HOR-14-726 fue caracterizada como un ají dulce. Sin embargo, únicamente sus semillas son picantes. La accesión OSP-HOR-19-1047 pertenece a la categoría de ají picante y las otras dos accesiones pertenecen a la categoría de ají dulce.
- **Tercer subgrupo:** Por la accesión OSP-HOR-19-1046 con una distancia de similitud de 0,21. Ésta accesión se caracterizó como ají picante.

El segundo grupo estuvo conformado por seis accesiones: OSP-HOR-12-1048, OSP-HOR-11-479, OSP-HOR-10-995, OSP-HOR-14-727, OSP-HOR-10-989 y OSP-HOR-10-991. Todas las accesiones fueron catalogadas por la URF del INIA-CENIAP como ajés dulces. Este grupo a su vez se subdividió en tres subgrupos:

- **Primer subgrupo:** Por tres accesiones, OSP-HOR-12-1048, OSP-HOR-11-479, OSP-HOR-10-995, con una distancia de similitud de 0,62.
- **Segundo subgrupo:** Por las accesiones OSP-HOR-14-727 y OSP-HOR-10-989, con una distancia de similitud de 0,53.
- **Tercer subgrupo:** Por la accesión OSP-HOR-10-991 con una distancia de similitud de 0,23.

Las 12 accesiones del material vegetal en el presente estudio, han sido el producto de varios procesos de selección por parte del personal del Banco de Germoplasma INIA-CENIAP, basándose en la uniformidad de los frutos para cada accesión. Además, en los procesos de selección y multiplicación de semillas se ha utilizado, para la siembra la casa de cultivo y aunque las especies cultivadas se consideran autógamas, puede existir polinización cruzada y favorecer posiblemente la variabilidad genética del Género *Capsicum*. Esto pudo observarse en el dendrograma, en el cual se formaron dos grupos jerárquicos, aparentemente por su clasificación de accesiones con pungencia y las accesiones que no la poseen.

En Venezuela, el trabajo más reciente fue realizado por Jiménez (2014), en el que reportó a través del dendrograma la formación de tres grupos principales, divididos jerárquicamente en dos subgrupos, para los 15 cultivares de ají (*Capsicum* sp.) evaluados, detectando variabilidad genética.

Orenthung *et al.* (2013), en su investigación reportaron la formación de dos grupos principales con alta variabilidad genética. En el primer grupo estuvo conformado por la especie *C. chinense*, mientras que en el grupo dos, por las especies *C. annuum* y *C. frutescens*. De igual manera, Patel (2015), reportó la formación de dos grupos principales, con una alta variabilidad genética y en el primer grupo, una sola variedad y en el segundo grupo, observó la subdivisión jerárquica en los subgrupos, en los que se agruparon siete variedades de *Capsicum annuum*.

Por su parte, Bobadilla *et al.* (2017), obtuvieron la formación de dos grupos principales y poca variabilidad genética, diferenciando el grupo de las variedades de polinización libre, del grupo de

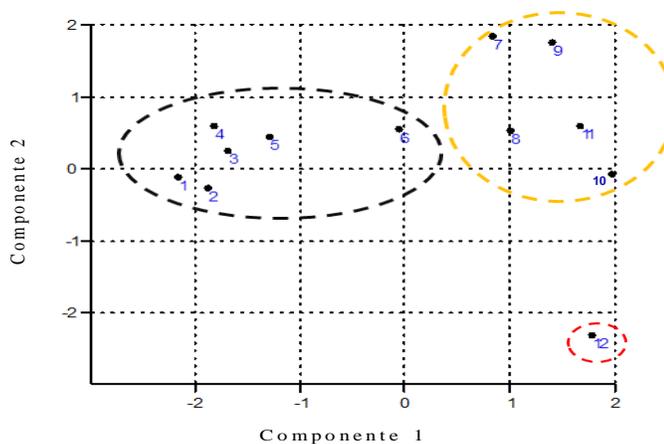
las variedades criollas de calidad (obtenidas de un proceso de selección por los programas de mejoramiento genético). En la investigación de Ranganathan *et al.* (2017), reportaron la formación de siete grupos en el dendrograma, con poca variabilidad genética entre las 22 accesiones de *Capsicum* spp.

### **Coefficiente de Correlación Cofenética (CCC)**

El CCC del dendrograma fue de 0,931, lo cual pudo inferir un ajuste perfecto en la estructura jerárquica de la evaluación molecular RAPD entre las 12 accesiones ajís. Es decir, el dendrograma obtenido, basado en la distancia genética de Jaccard, permitió describir el agrupamiento de las accesiones, como fue señalado por Sokal y Rohlf (1962). Resultados similares obtuvo Jiménez (2014), y en su investigación reflejó un CCC de 0,94.

### **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

Se realizó el ACP como otra forma de representar visualmente el ordenamiento de las 12 accesiones en el estudio de la variabilidad genética. También, de observar la ubicación espacial de los grupos de las accesiones que presentan mayor similitud entre ellas (Figura 5).



**Figura 5.** Análisis de componentes principales para las 12 accesiones de ají (*Capsicum* sp.) y tres cebadores RAPD. Accesiones: (1) OSP-HOR-12-1048, (2) OSP-HOR-11-479, (3) OSP-HOR-10-995, (4) OSP-HOR-14-727, (5) OSP-HOR-10-989, (6) OSP-HOR-10-991, (7) OSP-HOR-10-988, (8) OSP-HOR-10-399, (9) OSP-HOR-14-726, (10) OSP-HOR-14-981, (11) OSP-HOR-19-1047 y (12) OSP-HOR-19-1046 de la Unidad de Recursos Fitogenéticos INIA-CENIAP.

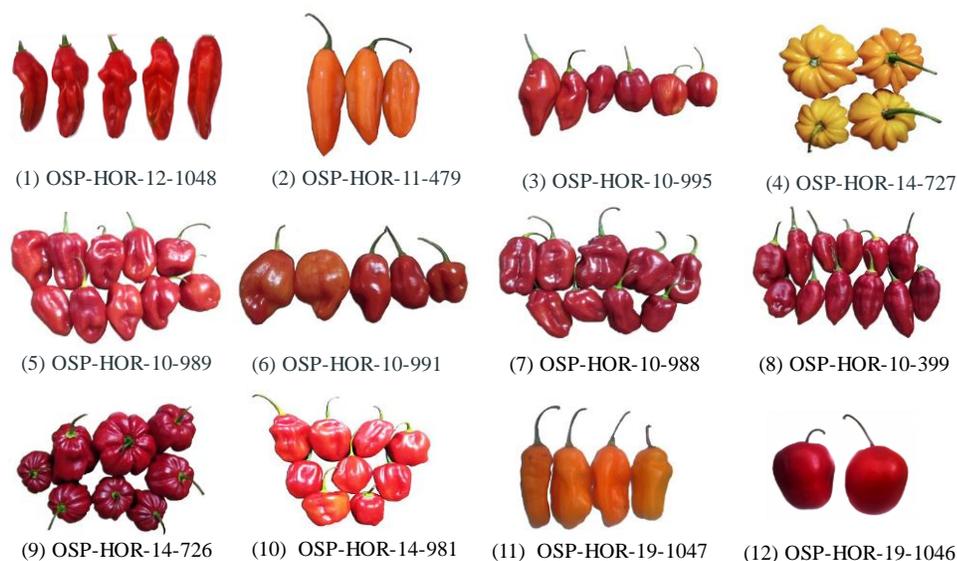
Los resultados obtenidos del ACP permitieron observar la conformación de tres grupos: El primero estuvo constituido por seis accesiones (1) OSP-HOR-12-1048, (2) OSP-HOR-11-479, (3) OSP-HOR-10-995, (4) OSP-HOR-14-727, (5) OSP-HOR-10-989 y (6) OSP-HOR-10-991. En

el segundo grupo, cinco accesiones: (7) OSP-HOR-10-988, (8) OSP-HOR-10-399, (9) OSP-HOR-14-726, (10) OSP-HOR-14-981 y (11) OSP-HOR-19-1047. Finalmente, en el tercer grupo, sólo la accesión (12) OSP-HOR-19-1046.

Estos resultados permitieron confirmar que los grupos aparentemente están separados por aquellas accesiones que poseen pungencia y las accesiones que no la poseen, como fue jerarquizado genéticamente en el dendrograma. Sin embargo, éste análisis permitió separar de manera clara a la accesión (12) OSP-HOR-19-1046 del resto, posiblemente porque fue catalogada en la URG INIA-CENIAP en otra especie del género *Capsicum*.

Resultados similares fueron obtenidos por Jiménez (2014), al reportar la formación de tres grupos bien definidos para la organización jerárquica de los 15 cultivares de ají. En el ACP, el primer grupo sólo un cultivar; en el segundo grupo, cuatro cultivares; y en el tercer grupo, diez cultivares. Sus resultados coincidieron con la distribución presentada en el dendrograma de su investigación.

En vista de la evidencia científica presentada en el presente estudio, fue posible inferir la eficiencia de los marcadores moleculares de tipo RAPD para caracterizar genéticamente y determinar el polimorfismo genético existente en doce accesiones de ají pertenecientes a los estados Aragua, Nueva Esparta y Sucre de Venezuela, información con un valor potencial para la colección del banco de germoplasma del INIA-CENIAP (Figura 6).



**Figura 6.** Frutos de las 12 accesiones de ají (*Capsicum* sp.)

## CAPÍTULO II

### EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE

#### Revisión de literatura

El crecimiento de una planta es el aumento constante en el tamaño del organismo, acompañado de procesos como la morfogénesis y la diferenciación celular, así como un proceso multifacético que integra fenómenos fisiológicos tales como actividad fotosintética, uso del agua, suministro de nutrientes y adaptaciones a estrés (Taiz y Zeiger, 2006; Lee y Yoe, 2015). Se han señalado otros conceptos que a pesar de no ser recientes, se han considerado cómo relevantes y en este sentido, Mohr (1995), define que el crecimiento de los diferentes órganos de las plantas, es un proceso fisiológico complejo que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de la semilla, disponibilidad de agua y de nutrientes. Por su parte, Kru (1997), se refiere al crecimiento como un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta. Gómez *et al.* (1999), consideran que es un proceso complejo que incluye muchos procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, translocación, absorción y transpiración.

La productividad de un cultivo, en términos biológicos, comienza a definirse desde el inicio del ciclo de producción comercial, y es afectada por una multiplicidad de factores, algunos de ellos propios del genotipo, otros del ambiente, y otros de las condiciones de manejo. Estos factores ejercen sus efectos a través de cambios en la diferenciación y expansión de órganos, en la captación de recursos por parte de ellos, y también en la distribución de esos recursos entre los distintos órganos de la planta. Como resultado de estos efectos se producen modificaciones en la acumulación de biomasa entre las distintas partes de esta (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

El patrón de crecimiento de un organismo se describe por medio de la curva sigmoidea, misma que se construye con datos como área foliar y peso seco (biomasa) en función del tiempo. En dicha curva se observan tres fases, tales como la fase inicial (ocurre cuando las plantas comienzan

a perder masa seca durante el proceso de germinación y a medida que se desarrolla el embrión se van agotando las reservas de la semilla); fase logarítmica (en ella el crecimiento se da rápidamente y de forma lineal) y fase de establecimiento (el crecimiento comienza a decrecer disminuyendo por ende la masa seca). El análisis de crecimiento puede hacerse para plantas individuales o para comunidades de plantas y, en el caso particular de estudios agronómicos es representado como la producción o rendimiento económico de órganos de interés (Melgarejo *et al.*, 2010).

En este sentido, Azofeifa y Moreira (2004), reseñan que en la curva de crecimiento de la planta de ají se distinguen las tres etapas anteriormente mencionadas: La primera, una fase inicial o logarítmica, donde la planta joven cuenta con un área foliar y un sistema radical reducido. La segunda, una fase vegetativa o exponencial donde el crecimiento es rápido y el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan. La tercera es una fase de estabilización, donde después del inicio de la fructificación ocurre una disminución del crecimiento hasta estabilizarse.

### **Análisis de crecimiento**

La importancia del análisis de crecimiento radica en que es una herramienta que puede ser utilizada para entender el comportamiento de un cultivo bajo condiciones ambientales naturales y estresantes. El principal propósito del análisis de crecimiento es describir e interpretar el desenvolvimiento de las especies en el campo o en un ambiente controlado. Para identificar el comportamiento del crecimiento de un cultivo a través de la medición de materia seca de la planta o materia húmeda (hojas, tallos, frutos y raíces) es fundamental el uso métodos que expresen la máxima productividad potencial de las plantas (Hunt, 1990; Charlo *et al.*, 2011).

En general, las variables como altura de planta, área foliar, diámetro de tallo, número de hojas, biomasa seca en diferentes órganos de la planta y variables de rendimiento como número, peso, longitud y diámetro de fruto son utilizadas al momento de evaluar y caracterizar el crecimiento de plantas de interés agronómico. En consecuencia, diversos investigadores han utilizado las variables anteriormente señaladas en sus evaluaciones sobre el género *Capsicum*. En ese sentido, Hernández *et al.* (2011), evaluaron el crecimiento y desarrollo del ají bajo condiciones de invernadero, Ix-Nahuat *et al.* (2013), identificaron once poblaciones de ají dulce más sobresaliente con base en el rendimiento de fruto y características agronómicas. Por su parte,

Hasan *et al.* (2014), estudiaron el desarrollo morfofisiológico en condiciones de campo de cuatro líneas de *Capsicum* spp. Peña y Zenner (2015), evaluaron el crecimiento de híbridos tricolores de pimentón dulce en condiciones de invernadero, López *et al.* (2017), estudiaron el rendimiento y la calidad del chile habanero (*C. chinense*), y Alemán *et al.* (2018), evaluaron la acumulación de materia seca en diferentes órganos de plantas de pimiento (*C. annuum*). Recientemente, Cárdenas (2020), evaluó la distribución de nutrientes en ají (*C. frutescens*) tipo tabasco var. Amazon, Trujillo (2021), evaluó la producción y calidad de ají escabeche (*C. baccatum* var. pendulum), Brillhante *et al.* (2021), caracterizaron fenotípica y molecularmente el germoplasma de *Capsicum* brasileño, y San Juan (2022), estudió los aspectos morfométricos y fisiológicos en chiles (*C. annuum*).

La evaluación del crecimiento en especies del género *Capsicum* es amplio y esto ha permitido que se haya empleado en investigaciones bajo algunas condiciones específicas. En ese sentido, Charlo *et al.* (2011), analizaron el crecimiento de ají dulce en fibra de coco a nivel de invernadero. Quintero y Barraza (2009), evaluaron la densidad poblacional y plasticidad fenotípica del ají picante (*C. annum* c.v. Cayene Long Slim), Pinto (2015), realizó un estudio en el que evaluó el efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de ají dulce en condiciones de campo, y del mismo modo, Ocharo *et al.* (2017), evaluaron el crecimiento y rendimiento de ají dulce con respecto a la densidad de siembra. Reggeti (2018), evaluó el efecto de aplicaciones de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre la bioproductividad y fotosíntesis de una accesión de ají dulce *Capsicum* sp. bajo condiciones de umbráculo. En el caso de Sinaga *et al.* (2020), evaluaron la acumulación de materia seca radical en tres variedades de pimiento cayena (*C. frutescens*) al evaluar diferentes porcentajes de disponibilidad de agua.

Ahora bien, para estimar la habilidad propia de un cultivo para desarrollarse en función de su genotipo, se utilizan los índices de crecimiento debido a que son buenos indicadores de la eficiencia de las plantas, en especial las cultivadas. En cuanto al rendimiento y la producción, pueden medirse mediante el empleo de índices de crecimiento, los cuales indican la eficacia de las plantas para aprovechar los factores ambientales del sitio donde crecen y la forma como las plantas distribuyen sus asimilados (Archila *et al.*, 1998; Méndez *et al.*, 2004). En este sentido, se requiere del análisis matemático de crecimiento que usa medidas directas o primarias tales como biomasa seca total de la planta, área foliar total y tiempo; así como medidas derivadas como son el

índice de crecimiento relativo (ICR), índice de crecimiento del cultivo (ICC), el índice del área foliar (IAF), índice de asimilación neta (IAN), razón del área foliar (RAF), razón del peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE) y duración del área foliar (DAF), que pueden ser obtenidos a partir de las medidas directas (Melgarejo *et al.*, 2010). En ese sentido, Fosado *et al.* (2018), señalan que la determinación del área foliar es un importante indicador en las investigaciones fisiológicas, ecofisiológicas y agrícola en diferentes especies cultivadas, dado que el crecimiento, síntesis de la biomasa por la fotosíntesis (absorción de CO<sub>2</sub> y luz), transpiración, consumo de agua, nutrición mineral, respiración, producción y el rendimiento están relacionadas directamente al área de las hojas.

Diversos estudios se han realizado en esta área, empleando los índices de crecimiento para estimar la eficiencia del cultivo de ají bajo diferentes condiciones. En ese sentido, Jaimez (2000), evaluó el crecimiento y la distribución de la materia seca de tres cultivares de ají dulce bajo condiciones de déficit hídrico, en el cual midió el área foliar de cada planta y estimó el índice de área foliar, la razón de área foliar y la tasa de crecimiento relativo. Azofeifa y Moreira (2004), analizaron el crecimiento del chile jalapeño (*C. annuum* cv. Hot) mediante el uso del índice de crecimiento relativo, índice de asimilación neta y razón de área foliar. Por su parte, Castellanos *et al.* (2009), seleccionaron cinco accesiones de ají, por su alto grado de pungencia con el objeto de evaluar su crecimiento y el efecto sobre los patrones de interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), producción y calidad de los frutos bajo tres distancias de siembra. Dada y Ogunesu (2016), analizaron los efectos de la aplicación foliar y al suelo de compost en ají dulce (*C. chinense*) por medio de los índices como el índice de crecimiento del cultivo. Niño (2018), utilizó la razón de área foliar y la razón de peso foliar al evaluar biofertilizantes en chile jalapeño (*C. annuum* var. Mitla). Recientemente, Martínez *et al.* (2023), evaluaron el chile poblano (*C. annuum* var. grossum sendt) bajo invernadero mediante el uso del índice de crecimiento relativo, índice de asimilación neta y razón de área foliar.

Al caracterizar un cultivo de interés agronómico, se puede obtener información valiosa que permitirá la identificación de aquellas variables morfofisiológicas que pudieran ser utilizadas dentro de un programa de mejoramiento genético o pre-mejora, y esto a su vez dará paso a que los bancos germoplasmas provean a los fitomejoradores de la variabilidad genética necesaria para identificar genotipos potenciales para su uso como progenitores y posterior beneficio agronómico.

De este modo, las colecciones de germoplasma siendo un conjunto de accesiones representativas de una variación genética objetivo de conservación y utilización, comprenden la diversidad del material genético contenido en las especies de plantas domesticadas para la alimentación. De manera que, el premejoramiento es el arte de concentrarnos en las características deseadas e incorporarlas en materiales mejorados, y estos programas buscan reducir la uniformidad genética a través de la introducción de una mayor base de diversidad genética, así como incrementar el rendimiento, la resistencia de plagas y enfermedades, y otras características de calidad. El pre-mejoramiento es un paso vital en los nexos entre la conservación y el uso de los recursos genéticos de plantas, permitiendo que sea un componente esencial para hacer a los bancos de germoplasma utilizables (Sildana y Baena, 2000; Pérez, 2008; Gutiérrez, 2008).

Di Dato *et al.* (2015), señalaron que la explotación del germoplasma en *Capsicum* y su uso en mejoramiento ha sido poco estudiada, y que en la actualidad existe la necesidad de desarrollar nuevos cultivares. En consecuencia, la información que aportan los programas de premejoramiento, al ser incorporada en los programas de mejoramiento, dará al fitomejorador la oportunidad de identificar combinaciones favorables mediante la selección de poblaciones genéticamente variables, las cuales serán potencialmente los nuevos cultivares (Laurentín, 2008).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.)**

#### **Ubicación del ensayo**

El ensayo se realizó en el invernadero de la Cátedra de Fisiología Vegetal perteneciente al Instituto de Botánica Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Maracay. Se realizó el análisis de suelo en el Laboratorio General de Suelos del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía, ubicado en la Universidad Central de Venezuela, Maracay (Cuadro 5).

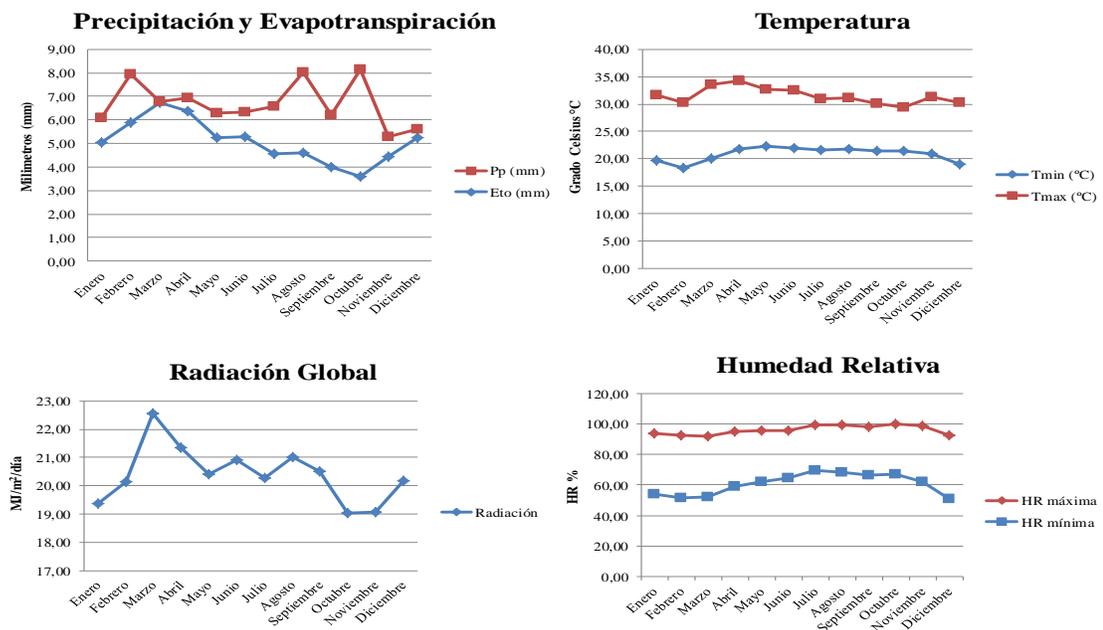
**Cuadro 5.** Análisis de suelo con fines de fertilidad (2018).

Código	Identificación	Profundidad	Análisis Físico			Clase textural
			Arcilla %	Limo %	Arena %	
11802001	Muestra única	S/P	7,2	27,2	65,6	Fa

pH 1:1 en agua	C.E. 1:1 en agua dS.m-1	Materia orgánica %	Nitrógeno total	Fósforo mg.kg-1	Potasio mg.kg-1	Calcio mg.kg-1	Sodio mg.kg-1	Magnesio mg.kg-1
6,85	1,31	1,99	0,10	2912,00	372,8	1293,6	268	240

Se obtuvieron los datos climatológicos para el año 2018 registrados por la Estación Maracay del Campo UCV perteneciente a la Unidad de Servicios Integrados Climatológicos para la Investigación en Agricultura y Ambiente (USICLIMA) adscrita a la Cátedra de Climatología Agrícola de la Facultad de Agronomía en la UCV (Figura 7).



**Figura 7.** Datos climatológicos para el año 2018 de precipitación (mm), evapotranspiración (mm), temperatura (°C), radiación global (MJ/m<sup>2</sup>/día) y humedad relativa (%).

## Material vegetal

Se utilizaron plántulas establecidas de tres accesiones de ají dulce provenientes del Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP, Maracay. Las mismas fueron seleccionadas de las 12 accesiones que se evaluaron en la caracterización molecular con base a la ubicación geográfica de sus zonas productoras en el país (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Accesiones a utilizar en la evaluación de crecimiento.

Accesión	Procedencia		Latitud	Longitud	Altitud
	Ubicación	Estado			
OSP-HOR-14-726	Margarita	Nueva Esparta	11°01'39''N	63°51'46''O	167 m s.n.m
OSP-HOR-10-988	Colonia Tovar	Aragua	10°25'N	67°18'O	1790 m s.n.m
OSP-HOR-12-1048	Cumaná	Sucre	10°27'14''N	64°27'57''O	4 m s.n.m

## Manejo del Experimento

Las semillas de las tres accesiones de ají dulce fueron sembradas en semilleros con sustrato de materia orgánica, sin embargo, se realizaron varias resiembras para garantizar la cantidad adecuada de plántulas, esto debido a que las semillas presentaron problemas de germinación. Una vez obtenido el número de plántulas requerido, se procedió a realizar el trasplante de las plántulas con cuatro a cinco hojas verdaderas expandidas y aproximadamente 10 cm de altura, en bolsas de polietileno con suelo. Las bolsas fueron mantenidas en el Invernadero de la Cátedra de Fisiología Vegetal.

Las evaluaciones semanales se realizaron durante un lapso de siete semanas y se iniciaron a los 43 días después del trasplante para las accesiones OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048. El riego se realizó de manera interdiaria, dependiendo de la humedad del suelo y el manejo de plagas, malezas y enfermedades se realizó de manera preventiva. El ensayo tuvo una duración de 85 días después del trasplante (ddt), comenzó a finales del mes de mayo y finalizó a inicios del mes de julio del año 2018.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos, los cuales corresponden a las tres accesiones escogidas de acuerdo a la procedencia geográfica de cada una. Se establecieron cinco repeticiones, siendo una planta la unidad experimental (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Tratamientos (accesiones) escogidas de acuerdo a la procedencia geográfica.

Tratamientos	Accesiones	Procedencia	
		Ubicación	Estado
T1	OSP-HOR-14-726	Margarita	Nueva Esparta
T2	OSP-HOR-10-988	Colonia Tovar	Aragua
T3	OSP-HOR-12-1048	Cumaná	Sucre

### Variables evaluadas

Se realizaron siete muestreos semanales destructivos y no destructivos en las siguientes fechas: 43, 50, 57, 64, 71, 78 y 85 días después del trasplante (ddt) para las accesiones OSP-HOR-14-726 (T1); OSP-HOR-10-988 (T2) y OSP-HOR-12-1048 (T3). Dichos muestreos se realizaron para evaluar las variables morfo-fisiológicas en 5 plantas tomadas al azar por cada tratamiento. Durante la cosecha se evaluaron las variables de rendimiento.

### Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos destructivos.

Las determinaciones de las variables mencionadas a continuación, se realizaron en siete muestreos semanales en cinco plantas por tratamiento tomadas al azar.

#### Número de hojas totales

Se contó el número total de hojas fotosintéticas, totalmente expandidas de cada planta.

#### Área foliar (cm<sup>2</sup>)

Se determinó el área foliar a todas las hojas de las cinco plantas por muestreo. Para ello, se fotografiaron las hojas y luego se analizaron con el programa ImageJ para conocer el área foliar en cm<sup>2</sup>.

### **Biomasa seca foliar (g)**

Las hojas se metieron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa Memert, Mod. U40 a 70°C por 72 horas para determinar el peso seco utilizándose una balanza analítica Marca Kern, modelo EW 200-3NM.

### **Biomasa seca tallos (g)**

Los tallos de las plantas se metieron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa Memert, Mod. U40 a 70°C por 72 horas para determinar el peso seco utilizándose una balanza analítica Marca Kern, modelo EW 200-3NM.

### **Biomasa seca radical (g):**

Las raíces se separaron de las plantas, se metieron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa Memert, Mod. U40 a 70°C por 72 horas para determinar el peso seco utilizándose una balanza analítica Marca Kern, modelo EW 200-3NM.

### **Biomasa seca de frutos (g)**

Los frutos se metieron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa Memert, Mod. U40 a 70°C por 72 horas para determinar el peso seco utilizándose una balanza analítica Marca Kern, modelo EW 200-3NM.

### **Biomasa seca total (g):**

La determinación de la biomasa total se realizó mediante la siguiente ecuación:

Biomasa Seca Total = Peso seco (hojas) + Peso seco (tallos) + Peso seco (raíz) + Peso seco (frutos)  
[en el muestreo que correspondió].

### **Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos no destructivos.**

Se utilizaron y macaron cinco plantas seleccionadas de cada accesión, durante todo el ensayo para las siguientes evaluaciones:

#### **Altura de planta (cm)**

Se midió con una cinta métrica desde la base del tallo de la planta hasta el ápice del tallo principal.

### **Diámetro del tallo principal (cm)**

Se midió con un vernier de lectura directa a un centímetro de la base del tallo.

### **Índice de Clorofila (Unidades SPAD)**

Se utilizó un medidor de clorofila de mano (SPAD 502 Plus, Minolta) el cual permitió conocer valor numérico que es proporcional a la cantidad de la clorofila en la hoja. Se realizó la evaluación en tres hojas recientemente maduras de cinco plantas durante la fase reproductiva y de fructificación en cada accesión.

### **Variables de rendimiento. Muestreos no destructivos.**

La cosecha de los frutos de todas las plantas por accesión se realizó semanalmente con un total de ocho cosechas, la cual inició a los 95 días después del trasplante y finalizó a los 144 días después del trasplante. Con el uso de un vernier, se determinó la longitud de fruto (cm), diámetro de fruto (cm) y grosor del pericarpio de fruto (mm). Para determinar el peso de frutos y el peso de 100 semillas, se utilizó una balanza analítica Marca Kern, modelo EW 200-3NM. Además, se contó el número de frutos y número de semillas por fruto.

Para evaluar todas las variables anteriores y realizar las estimaciones de rendimiento, se tomaron cinco plantas por accesión. El peso promedio por fruto se obtuvo por medio de la división del peso total de fruto entre el número de frutos por planta en cada cosecha. El rendimiento por planta (g/planta) se estimó sumando el peso de todos los frutos en cada cosecha por accesión, y luego dividiéndolo entre el número de plantas.

### **Análisis estadístico**

Para el procesamiento de los datos obtenidos de las variables número de hojas totales, área foliar, biomasa seca foliar, biomasa seca tallos, biomasa seca radical, biomasa seca fruto, biomasa seca total, altura de planta, diámetro del tallo, índice de clorofila, longitud de fruto (cm), diámetro de fruto (cm), grosor del pericarpio de fruto (mm), peso promedio por fruto, peso de 100 semillas, número de frutos, número de semillas por fruto y rendimiento por planta (g/planta), se realizó un análisis de varianza y se comprobaron los supuestos del ANAVAR con el programa Statistix 9.0.

Las variables que cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza se analizaron por la vía paramétrica mediante el uso de la prueba de Bonferroni, debido a que este

procedimiento trabaja razonablemente bien cuando se tiene un número pequeño de grupos, ya que, si la cantidad de tratamientos se incrementa a ocho o a diez, el valor de  $t$  requerido para detectar una diferencia será demasiado grande, de manera que el método se vuelve incapaz de detectarlas. Aquellas variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, se analizaron por la vía no paramétrica mediante el uso de la prueba de Kruskal – Wallis al 5%, según el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$  = observación de  $i$ -ésimo tratamiento de las variables número de hojas totales, área foliar, biomasa seca foliar, biomasa seca tallos, biomasa seca radical, biomasa seca fruto, biomasa seca total, altura de planta, diámetro del tallo, índice de clorofila, longitud de fruto (cm), diámetro de fruto (cm) y grosor del pericarpio de fruto (mm), peso promedio por fruto, y rendimiento por planta (g/planta).
- $\mu$  = media general.
- $T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo nivel de tratamiento ( $i$ =accesiones).
- $E_{ij}$  = error experimental normalmente distribuido debido a la medida repetida en el tiempo, con media cero y varianza  $\sigma^2$ .

#### **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.) MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES.**

Se analizó el crecimiento de las tres accesiones de ají dulce con base a los datos obtenidos durante los siete muestreos realizados bajo invernadero, utilizando los índices que se describen en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Análisis de crecimiento clásico. Cálculo y unidades.

Índice de Crecimiento	Cálculo	Unidades
Índice de Crecimiento Relativo (ICR)	$\left(\frac{\ln P2 - \ln P1}{t2 - t1}\right)$	$\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$
Índice de Asimilación Neta (IAN)	$\left(\frac{P2 - P1}{t2 - t1}\right) * \left(\frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}\right)$	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$
Razón de Área Foliar (RAF)	$\left(\frac{AFTotal}{PesoSecoTotal}\right)$	$\text{cm}^2/\text{g}$
Razón de Peso Foliar (RPF)	$\left(\frac{PesoSecoHojas}{PesoSecoTotal}\right)$	$\text{g}/\text{g}$
Área Foliar Específica (AFE)	$\left(\frac{AFtotal}{PesoSecoFoliar}\right)$	$\text{cm}^2/\text{g}$

---

AF2 = Área foliar final; AF1 = Área foliar inicial; P2 = Peso Final;  
P1 = Peso inicial; t2 = Tiempo final; t1 = Tiempo inicial

---

### **IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOFISIOLÓGICAS QUE PUDIERAN SER UTILIZADAS DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO O PRE-MEJORA.**

Se realizó un análisis de agrupamiento (dendrograma) para las tres accesiones de ají y las variables morfofisiológicas morfológicas, empleando los valores promedios del último muestreo (85 ddt): número de hojas, área foliar, biomasa seca foliar, biomasa seca de tallo, biomasa seca de raíz, biomasa seca de frutos, biomasa seca total, altura de planta, diámetro de tallo e índice de clorofila (SPAD), así como los valores promedios de ocho cosechas para las variable de rendimiento: longitud de fruto, diámetro de fruto, grosor del pericarpio de fruto, peso de 100 semillas, peso promedio de fruto, peso promedio de frutos, peso de 100 semillas, número de frutos, número de semillas por fruto y rendimiento por planta. Se utilizó el Índice de Disimilitud (distancia euclidiana que se emplea para datos cuantitativos) para realizar el análisis multivariado de conglomerados jerárquicos, utilizando el método de la distancia promedio no ponderada (UPGMA, por sus siglas en inglés), y generar un árbol de clasificación jerárquica ascendente de agrupamiento.

Para complementar la información del dendrograma se utilizó un Análisis de Coordenadas Principales (ACoP) y así poder determinar el porcentaje de variabilidad en los primeros componentes, por medio del programa estadístico PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001). Se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017) para determinar el Coeficiente de Correlación Cofenética (CCC) del análisis de agrupamiento (dendrograma). Se estimó el Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r$ ) para determinar el grado de correlación entre las variables utilizando el programa Statistix 9.0.

Finalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (biplot) para identificar las variables que mejor explicaron la variabilidad observada entre las accesiones a través del programa estadístico PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001), con la finalidad de identificar las variables morfofisiológicas que pudieran ser utilizadas dentro de un programa de mejoramiento genético o pre-mejora.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum* sp.)**

#### **Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestras destructivos.**

Se verificaron los supuestos del análisis de la varianza a todas las variables en estudio en cada una de las tres accesiones de ají. Las variables que cumplieron con los supuestos se analizaron por la vía paramétrica mediante el uso de la prueba de Bonferroni, y aquellas variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, se analizaron por la vía no paramétrica mediante el uso de la prueba de Kruskal – Wallis.

De acuerdo a la prueba de Bonferroni, las variables altamente significativas ( $p < 0,01$ ) fueron número de hojas totales a los 43 y 50 ddt; área foliar a los 43, 50, 85 ddt; biomasa seca foliar a los 43 y 78 ddt; biomasa seca tallos a los 43, 50, 64,78 y 85 ddt; biomasa seca fruto a los 78 ddt; biomasa seca total a los 43, 50, 71, y 78 ddt. Las variables significativas ( $p < 0,05$ ) fueron biomasa seca foliar a los 64 ddt; biomasa seca radical a los 71 ddt; y biomasa seca total a los 64 ddt.

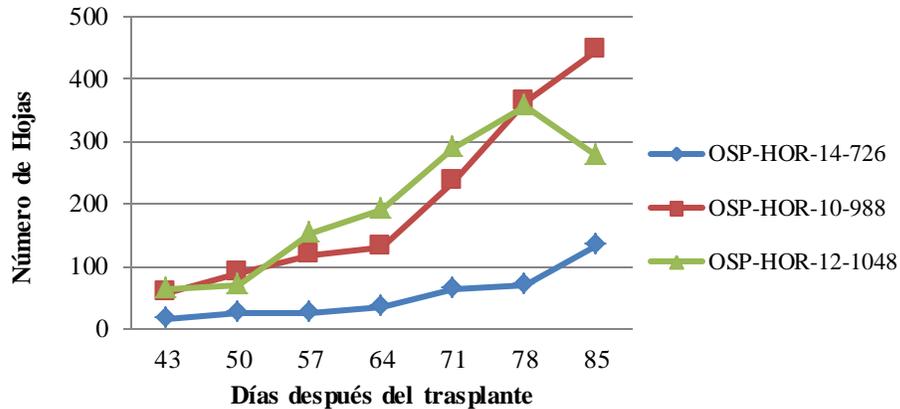
De acuerdo a la prueba de Kruskal – Wallis, las variables altamente significativas ( $p < 0.01$ ) fueron número de hojas totales a los 57, 64, 71, 78 y 85 ddt; área foliar a los 57, 64, y 71 ddt; biomasa seca foliar a los 50 y 57 ddt; biomasa seca tallos a los 57 y 71 ddt; biomasa seca radical a los 50, 64, 78 y 85 ddt; y biomasa seca total a los 57 y 85 ddt. La variable área foliar fue significativa ( $p < 0,05$ ) a los 78 ddt.

### **Número de hojas totales**

Las tres accesiones evaluadas presentaron un continuo incremento en cuanto al número de hojas durante el ensayo. Sin embargo, las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 se destacaron por presentar mayor número de hojas en comparación con la accesión OSP-HOR-14-726 (Figura 8).

En ese sentido, el valor máximo de número de hojas para la accesión OSP-HOR-10-988 fue 446,4 a los 85 ddt. Para la accesión OSP-HOR-12-1048 fue de 356 a los 78 ddt, sin embargo disminuyó a los 85 ddt, esto pudo haber ocurrido a consecuencia de la falta de agua para el riego correspondiente en ese período de evaluación, a lo que las plantas promovieron la caída de hojas como mecanismo de sobrevivencia. Ese sentido, Widuri *et al.* (2020), sugieren que el crecimiento de todas las variedades de chile (*C. annuum*) estudiadas disminuyó durante la exposición a la sequía y el período de recuperación, y lo indicó el menor número de hojas, entre otras variables evaluadas, sin embargo, también sugieren que la disminución en el número de hojas se debió básicamente a que las hojas nuevas se desarrollaron menos en comparación con el número de hojas viejas caídas. Del mismo modo, Fahad *et al.*, (2017) y Farooq *et al.*, (2010), señalan que el número de hojas y el tamaño de cada hoja individual se reducen en condiciones de sequía.

En el caso de la accesión OSP-HOR-14-726, el máximo número de hojas fue 132,6 a los 85 ddt. A pesar de que se mantuvo en constante aumento, la producción de hojas fue mucho menor durante el ensayo en comparación con las dos accesiones anteriores.



**Figura 8.** Número de hojas totales de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 9, se presenta la comparación de medias para número de hojas promedio de las tres accesiones en estudio y se observan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) durante los siete muestreos del ensayo correspondientes a los 43, 50, 57, 64, 71, 78 y 85 días después del trasplante (ddt). De acuerdo a la comparación de medias de Bonferroni, a los 43 ddt las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 no muestran diferencias entre ellas en cuando a la producción de hojas, pero ambas se diferencian de la accesión OSP-HOR-14-726, lo que demuestra que ésta última se caracterizó por producir menor número de hojas. Sin embargo, para los 50 ddt, las tres accesiones muestran diferencias significativas entre cada una, siendo OSP-HOR-10-988 la que produjo mayor número de hojas, seguida por OSP-HOR-12-1048 dejando de última a OSP-HOR-14-726 con menor número de hojas.

Para el resto de las fechas de muestreo y de acuerdo a la comparación de medias de Kruskal - Wallis, hubo diferencias altamente significativas entre las tres accesiones, lo que quiere decir que cada una tuvo diferencias en la producción de hojas y probablemente se deba a las diferencias en el genotipo y al ambiente.

**Cuadro 9.** Comparación de medias para número de hojas promedio de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Número de hojas promedio						
	43 ddt	50 ddt	57 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	14,60 <sup>b</sup>	25,00 <sup>c</sup>	**	**	**	**	**
OSP-HOR-10-988	58,00 <sup>a</sup>	87,80 <sup>a</sup>	**	**	**	**	**
OSP-HOR-12-1048	62,40 <sup>a</sup>	68,60 <sup>b</sup>	**	**	**	**	**
C.V (%)	38,78	17,03	-	-	-	-	-

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni. Los \*\* indican diferencias altamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,01$ ). Días después del trasplante (ddt).

Nkansah *et al.* (2017), en su investigación evaluaron el crecimiento de nueve variedades de ají dulce (*C. annumm*) bajo condiciones de invernadero y campo, y observaron que en invernadero a los 42 ddt la variedad Kukulcan obtuvo el mayor número de hojas por planta (94,0) seguida por la variedad Caribbean Red (62,0), siendo las de menor número de hojas la variedad Embella 773 y F1 Nobili con 33,0 y 30,0, respectivamente. Estos resultados difieren un poco a los obtenidos en la presente investigación, debido a que a 43 ddt los valores máximos de las tres accesiones evaluadas son menores, aunque están dentro del rango de los valores reportados previamente por los autores citados, exceptuando el caso de la accesión OSP-HOR-14-726, que presentó el menor valor (14,60) a pesar de que ambas evaluaciones fueron realizadas bajo condiciones de invernadero.

Por su parte, Alemán *et al.* (2018), reportaron que en pimiento (*C. annumm*) obtuvieron un valor de 50,3 a los 72 ddt a nivel de invernadero para la variable número de hojas. Este resultado difiere de los obtenidos en este estudio, ya que a los 71 ddt el menor valor en cuanto al número de hojas fue 60 para la accesión OSP-HOR-14-726, seguida por la accesión OSP-HOR-10-988 con 235 y OSP-HOR-12-1048 con 290,4; presentando diferencias altamente significativas entre ellas.

En el mismo orden de ideas, Charlo *et al.* (2011), analizaron el crecimiento de 160 plantas de ají dulce híbrido Eppo (*C. annumm*) bajo condiciones de invernadero y obtuvieron un continuo incremento en el número de hojas hasta los 168 ddt en los cuales alcanzó un máximo de 86,8 y

luego se mantuvo constante hasta los 189 ddt dando paso a la senescencia de las hojas. Estos resultados son interesantes aunque difieren de los obtenidos en esta investigación, debido a que aún con condiciones de fertirrigación y con fibra de coco como sustrato, dichas plantas no superaron los valores máximos que se reportan en las tres accesiones bajo estudio, y que además se obtuvieron en menor cantidad de días (85 ddt) en los que finalizó este ensayo.

En contraste, Jiménez (2012), reportó que no hubo diferencias significativas en tres genotipos de (*C. chinense*) para la variable de número de hojas. De igual manera, Monsalve y Rosado (2020), reportaron que no hubo diferencias significativas en el número de hojas a los 11 y 46 ddt, pero sí a los 95 ddt en tres genotipos de pimentón (*C. annuum*). Por su parte, Reggeti (2018), en su investigación en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.) bajo condiciones de invernadero, obtuvo valores entre 24 y 151 número de hojas durante 100 ddt, siendo menores a los reportados en el presente estudio.

Comparando los resultados de diferentes investigaciones con respecto a los obtenidos en este estudio, se puede inferir que las tres accesiones evaluadas tienen un gran potencial en cuanto a la producción de hojas, lo cual es una característica conveniente para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En ese sentido, Barraza *et al.* (2004), señalaron que un mayor número de hojas por planta, es un evento favorable para la producción de un cultivo, en vista de que la actividad fotosintética laminar y el crecimiento están estrechamente relacionados, ya que la cantidad de fotosíntesis que una planta realiza depende de la superficie de la hoja u órganos fotosintéticos que posea y de la actividad fotosintética por unidad de área de estos tejidos.

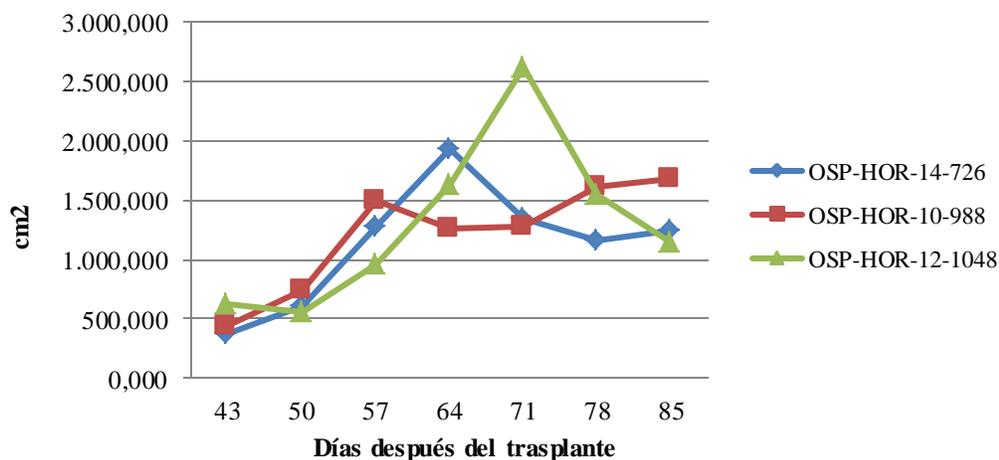
### **Área foliar (cm<sup>2</sup>)**

En la Figura 9, se presenta el desarrollo del área foliar de las tres accesiones evaluadas. La accesión OSP-HOR-12-1048 muestra un aumento del área foliar durante los 50, 57 y 64 ddt en los cuales finalizó la fase vegetativa e inició la fase de floración, y presentó el valor más alto a los 71 ddt (2.621,98 cm<sup>2</sup>) coincidiendo con el inicio de la fructificación. Luego de esa fecha, los valores disminuyeron notablemente alcanzando un valor de 1.142,71 cm<sup>2</sup> a los 85 ddt durante la fase de fructificación y fecha en la que se concluyó el ensayo.

En relación al área foliar de la accesión OSP-HOR-14-726, se muestra un aumento de la misma durante la fase vegetativa e inicio de la fase de floración entre los 43, 50 y 57 ddt. Seguidamente,

presentó su valor máximo (1.932,73 cm<sup>2</sup>) a los 64 ddt, y a partir de esa fecha, los valores disminuyeron notablemente alcanzando un valor de 1.169,61 cm<sup>2</sup> a los 78 ddt durante la fase de fructificación. Cabe destacar que presentó un ligero aumento a los 85 ddt (1.247,09 cm<sup>2</sup>), fecha en la que se concluyó el ensayo.

La accesión OSP-HOR-10-988 presentó un aumento del área foliar durante los 43 y 50 ddt durante la fase vegetativa, y alcanzó un valor alto (1.497,10 cm<sup>2</sup>) a los 57 ddt coincidiendo con la fase de floración. Los valores disminuyeron a los 64 ddt pero se mantuvieron constantes durante los 71 ddt, fechas en las que la accesión estaba en fase de floración e inicio de la fase de fructificación. Sin embargo, se puede observar que hubo un aumento del área foliar a los 78 ddt, y alcanzó su valor máximo (1.681,97 cm<sup>2</sup>) a los 85 ddt durante la fase de fructificación y finalización del ensayo.



**Figura 9.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 10, se presenta la comparación de medias para el área foliar promedio (cm<sup>2</sup>) de las tres accesiones en estudio y se observa que la accesión OSP-HOR-12-1048 mostró diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a las otras dos accesiones a los 71 días después del trasplante (ddt) en los cuales todas se encontraban en la fase de fructificación.

**Cuadro 10.** Comparación de medias para el área foliar promedio (cm<sup>2</sup>) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Área Foliar promedio (cm <sup>2</sup> )	
Accesiones	71 ddt
OSP-HOR-14-726	1.353,00 <sup>b</sup>
OSP-HOR-10-988	1.276,60 <sup>b</sup>
OSP-HOR-12-1048	2.622,00 <sup>a</sup>
C.V (%)	24,23

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) según prueba de Bonferroni.

Los resultados obtenidos en el presente estudio difieren notablemente de los resultados presentados por otros autores, debido a que las evaluaciones sobre el área foliar fueron realizadas a mayor número de días después del trasplante. Sin embargo, Alemán *et al.* (2018), demostraron que a los 72 ddt obtuvieron un valor de área foliar de 9.500 cm<sup>2</sup> a nivel de invernadero, siendo un valor que sobrepasa el obtenido en la presente investigación a los 71 ddt. En este sentido, el valor del área foliar encontrado en esta investigación difiere con el reportado por los autores antes señalados es debido a una respuesta genotípica entre los materiales utilizados, y a la gran variabilidad genética observada en el género *Capsicum*.

Por otra parte, Elizondo y Monge (2016), evaluaron la variable área foliar en 12 genotipos de ají dulce (*C. annumm*) en condiciones de invernadero obteniendo como resultado un valor máximo de 158,91 cm<sup>2</sup> para el genotipo FBM-2 y un valor mínimo de 100,9 cm<sup>2</sup> a los 182 ddt. Por lo tanto, el presente estudio obtuvo valores mayores a los 85 ddt, en comparación con los obtenidos por los autores citados previamente.

Recientemente, Monge *et al.* (2022), realizaron una comparación a nivel agronómico entre tres tipos de pimiento rectangular, cuadrado y cónico (*C. annumm*) producidos bajo ambiente protegido y no encontraron diferencias significativas entre el pimiento rectangular (119,93 cm<sup>2</sup>) y el cónico (135,36 cm<sup>2</sup>). Sin embargo, el pimiento cuadrado mostró un área foliar

significativamente menor ( $95,73 \text{ cm}^2$ ) en relación con los otros dos. Éstos autores reportaron en su investigación que sus resultados fueron mayores a los presentados por Sharma *et al.* (2010), quienes evaluaron 23 genotipos de pimiento rectangular y obtuvieron un valor máximo de área foliar en el genotipo Sel-10-2 de  $41,68 \text{ cm}^2$  y un valor mínimo en el genotipo SP-701 de  $14,53 \text{ cm}^2$ . Con base a estos resultados, queda demostrado que los valores de área foliar en la presente investigación sobrepasan los presentados por dichos investigadores.

En el mismo orden de ideas, los resultados obtenidos por Charlo *et al.* (2011), sobre el área foliar de las 160 plantas híbridos de ají dulce evaluadas en invernadero son relevantes, debido a que los valores alcanzaron un máximo de  $6.183,5 \text{ cm}^2/\text{planta}$  a los 189 ddt, donde a los 72 ddt las plantas presentaron el 50% del área foliar máxima ( $3.091,75 \text{ cm}^2/\text{planta}$ ). Si comparamos éstos resultados con los obtenidos en esta investigación, se observa que a los 71 ddt las tres accesiones bajo estudio presentan valores de  $2.662,0$ ,  $1.353,0$  y  $1.276,6 \text{ cm}^2$  y, aunque son menores a los presentados por Charlo *et al.* (2011), son valores que permiten asumir que dichas accesiones tienen potencialidad en cuanto a su desarrollo y crecimiento si se considera extender las evaluaciones de área foliar a mayor número de días.

Azofeifa (2000), analizó el crecimiento de dos tipos de chile (*C. annumm*) y obtuvo que la variable de área foliar fue de  $598,2 \text{ cm}^2$  y  $543,5 \text{ cm}^2$  a los 68 días después de la siembra (dds) para Jalpeño Hot y UCV 589, respectivamente. Si se comparan sus resultados con los obtenidos en esta investigación, se puede observar que los valores de área foliar a los 71 ddt son mucho mayores para las tres accesiones de ají. Por lo que se destaca que aunque hay una diferencia de tres días, los valores son contrastantes. Por su parte, Reggeti (2018), evaluó la variable área foliar en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.) y obtuvo valores entre  $339,76$  y  $2010,7 \text{ cm}^2$  durante 100 ddt, siendo cercanos a los obtenidos en esta investigación.

Las diferencias en el área foliar pueden estar asociadas a diferentes condiciones ambientales y diferentes genotipos utilizados en cada experimento. Sin embargo, es importante destacar que a mayor área foliar, mayor es la producción de fotoasimilados y la reinversión que conlleva a un crecimiento más rápido. Por lo tanto, se evidencia que a los 71 ddt en los cuales las accesiones estaban en la fase de fructificación, ocurre la translocación de asimilados desde las hojas (fuentes) hacia los frutos (sumideros), lo que permitió el crecimiento de los mismos (Charlo *et al.*, 2011; Azofeifa, 2000). En este sentido, de las tres accesiones bajo estudio, se considera que la accesión

OSP-HOR-12-1048 es la que presenta un mejor desarrollo de área foliar, previo a la fase de fructificación en la que la planta debe obtener fotoasimilados para empezar el llenado de los frutos.

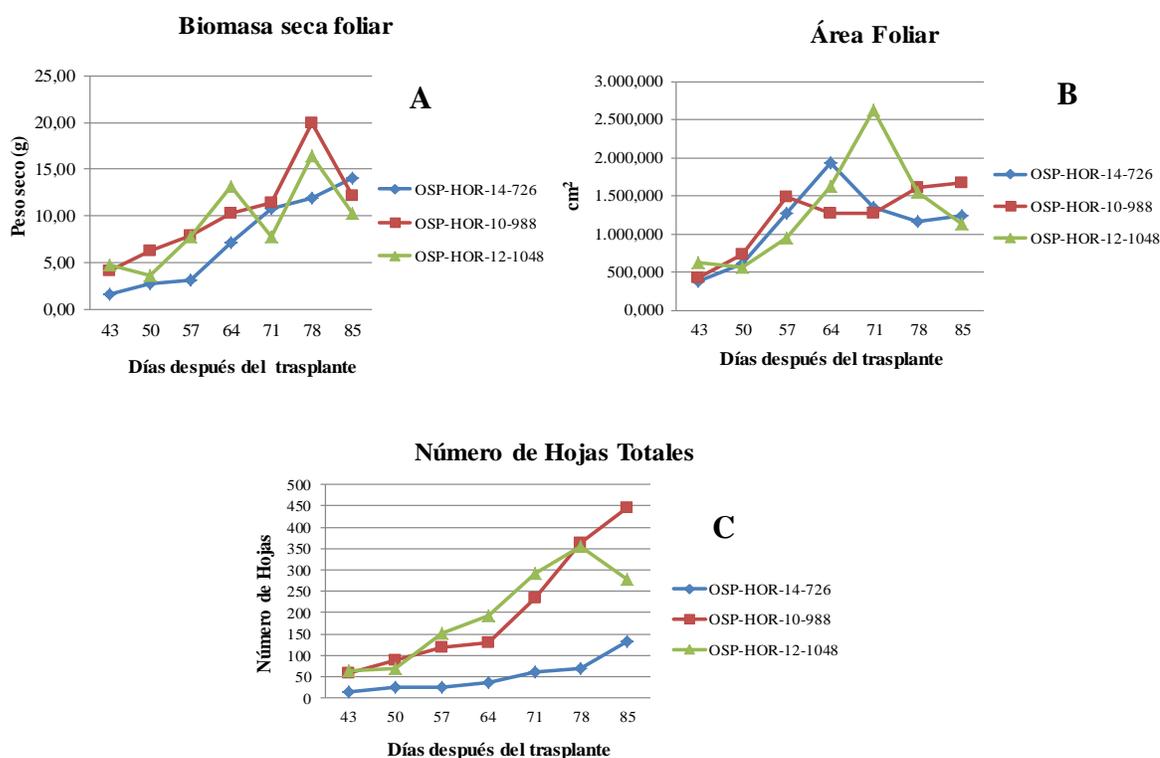
### **Biomasa seca foliar (g)**

En la Figura 10-A se presenta la biomasa seca foliar (g) de las tres accesiones de ají, y se puede observar la tendencia de crecimiento, especialmente en las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988, mientras que la accesión OSP-HOR-12-1048 mostró una disminución entre los 64 y 71 ddt.

La accesión OSP-HOR-14-726 se destacó por presentar una continua acumulación de peso desde los 43 ddt hasta los 85 ddt en los que alcanzó su máximo valor (14,07 g), aunque es la que presenta menores valores de biomasa seca foliar en comparación con las otras dos accesiones. Cabe destacar que, a partir de los 57 ddt se evidencia un incremento en peso que coincide con el inicio de la fase de floración, y a partir de los 71 ddt siguió acumulando biomasa. Es interesante resaltar que, entre los 64 y 78 ddt se redujo el área foliar pero se mantuvo produciendo hojas y acumulando biomasa seca foliar, a pesar de que ya se encontraba en el inicio de la fase de fructificación (Figura 10 – B y C).

En el caso de la accesión OSP-HOR-10-988, también presenta una continua acumulación de peso durante el ensayo, alcanzando su valor máximo (20,0 g) a los 78 ddt coincidiendo con la fase de fructificación. Entre los 64 y 71 ddt hubo fallas en el riego, y se puede observar en la Figura 8 A, B, y C que no se evidencia ningún efecto negativo en la acumulación de biomasa foliar ni en la producción de hojas, y para el caso del área foliar se muestra que se mantuvo casi constante, incluso para ese período de tiempo ya la accesión estaba en la fase de fructificación, lo que permite inferir que pudo resistir dicho período en el cual el riego no fue el adecuado. Entre los 71 y 78 ddt hubo un incremento notable en la acumulación de biomasa foliar, sin embargo, se denota una disminución entre los 78 y 85 ddt probablemente como consecuencia de un período de estrés hídrico, y aunque esta accesión fue la que presentó mayor número de hojas totales en los mismos 85 ddt, se puede inferir que a pesar de que produjo hojas y mantuvo ligeramente constante su área foliar, no acumuló biomasa foliar.

En cuanto a la accesión OSP-HOR-12-1048, se muestra que hubo una notoria acumulación de peso a partir de los 50 ddt hasta los 64 ddt coincidiendo con la fase vegetativa y con el inicio de la floración. Sin embargo, entre los 64 y 71 ddt hubo fallas en el suministro de agua, y esto posiblemente propició la disminución de la acumulación de biomasa foliar a pesar de que en ese lapso de tiempo presentó un aumento en el área foliar y en el número de hojas (Figura 10 B y C), además coincide con la fase de floración e inicio de la fructificación, por lo que probablemente los fotoasimilados fueron invertidos para empezar el desarrollo y crecimiento de los frutos en vez de acumular materia seca en las hojas durante ese breve período de estrés hídrico. Entre los 71 y 78 ddt, hubo un aumento de biomasa foliar y continuó la producción de hojas a pesar de que en ese período de tiempo el área foliar comenzó a disminuir notablemente. Finalmente, a los 85 ddt disminuyó la biomasa foliar, probablemente a consecuencia de la falta de suficiente agua para el riego correspondiente a esa semana, aunado a la disminución de área foliar y número de hojas.



**Figura 10.** A) Biomasa seca foliar (g); B) Área foliar (cm<sup>2</sup>); C) Número de hojas totales de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 11, se presenta la comparación de medias para biomasa seca foliar promedio (g) de las tres accesiones de ají en estudio y se observa que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-

HOR-12-1048 mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) con respecto a OSP-HOR-14-726 a los 43 (ddt) en los cuales todas se encontraban en la fase vegetativa, y a los 78 ddt en los cuales todas se encontraban en la fase de fructificación.

De igual manera, las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 muestran diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) a los 64 ddt con respecto a OSP-HOR-14-726 en los cuales todas estaban en la fase de floración e inicio de la fase de fructificación, evidenciando que ésta última mantuvo valores menores en cuanto a la biomasa seca foliar en comparación a las otras dos accesiones.

Para los 50 y 57 ddt, las tres accesiones estaban en la fase vegetativa y hubo diferencias altamente significativas entre todas de acuerdo a la comparación de medias de Kruskal - Wallis, por lo que se puede inferir que cada una tuvo diferencias en cuanto a la acumulación de biomasa seca foliar. Aunque no se puede definir cuales fueron diferentes, se puede observar gráficamente en la Figura 10-A que la accesión OSP-HOR-10-988 presentó un valor superior a las otras dos accesiones a los 50 ddt, mientras que a los 57 ddt tanto OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores muy similares y superiores en comparación con los valores de OSP-HOR-14-726, misma que se mantuvo con valores inferiores en todas fechas de muestreo.

**Cuadro 11.** Comparación de medias para biomasa seca foliar promedio (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Biomasa seca foliar promedio (g)				
	43 ddt	50 ddt	57 ddt	64 ddt	78 ddt
OSP-HOR-14-726	1,64 <sup>b</sup>	**	**	7,20 <sup>b</sup>	11,95 <sup>b</sup>
OSP-HOR-10-988	4,08 <sup>ab</sup>	**	**	10,34 <sup>ab</sup>	20,01 <sup>a</sup>
OSP-HOR-12-1048	4,76 <sup>a</sup>	**	**	13,17 <sup>a</sup>	16,49 <sup>a</sup>
C.V. (%)	41,72	-	-	33,02	13,10

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) y diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) según prueba de Bonferroni. Los \*\* indican diferencias altamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,01$ ). Días después del trasplante (ddt).

Pezua (2019), evaluó la acumulación de biomasa seca de hojas en diez selecciones de ají escabeche (*C. baccatum* var. *pendulum*) reportando que no hubo diferencias significativas entre

ellas, lo cual difiere con los resultados obtenidos en las tres accesiones de la presente investigación las cuales sí presentan diferencias significativas en cinco de los siete muestreos. Sin embargo, reportó que a los 142 ddt la selección LM-005 presentó el mínimo valor con 79,91 gramos mientras que la selección LM-017 obtuvo el valor más alto con 125,5 gramos. Estos valores difieren de los valores obtenidos en este estudio debido a que son mucho menores considerando que las evaluaciones se realizaron en menor cantidad de días, por lo que a los 85 ddt la accesión con mayor acumulación de biomasa seca de hojas fue OSP-HOR-10-988 (20,01 g) y la de menor valor fue OSP-HOR-14-726 (11,95 g). De igual manera, Reggeti (2018), reportó valores entre 0,65 y 9,50 g durante 100 ddt en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.) en su investigación llevada a cabo en el mismo invernadero en el que se realizó el presente estudio, siendo valores menores a los obtenidos en esta investigación.

En su investigación, Alemán *et al.* (2018,) evaluaron la acumulación de materia seca en diferentes órganos de plantas de pimiento (*C. annuum*) y reportaron que a los 72 ddt la acumulación de materia seca foliar fue de 17,4 g en condiciones de invernadero, y que hubo diferencias significativas en comparación con los resultados de las mismas plantas en condiciones de campo abierto, presentando valores muy inferiores. En este sentido, a nivel de invernadero el resultado reportado por ellos es mayor que los obtenidos en este estudio, ya que a los 71 ddt los valores de las tres accesiones fueron de 10,82 g., 11,44 g. y 7,82 g. Sin embargo, a los 78 ddt los valores obtenidos fueron de 11,95 g., 20 g. y 16,48 g. y son muy similares al valor reportado por Alemán *et al.* (2018).

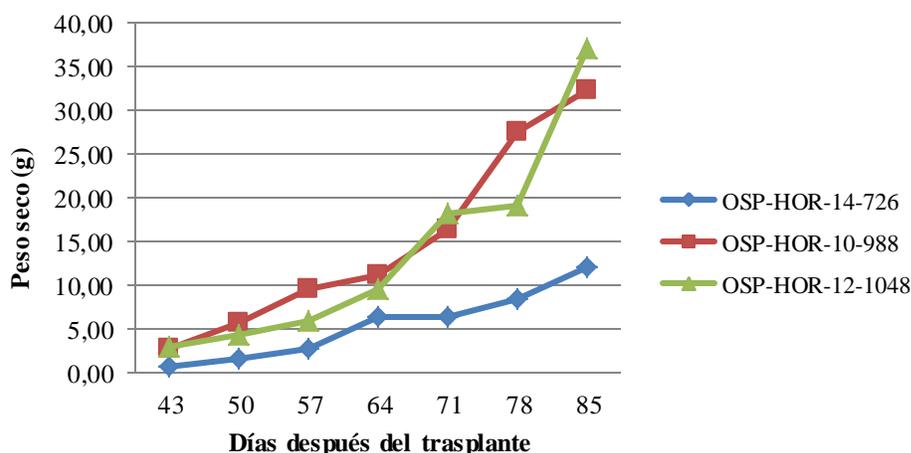
Por su parte, Cárdenas (2020), evaluó la distribución de nutrientes en ají (*C. frutescens*) tipo tabasco var. Amazon, y señaló que a partir de los 75 ddt se inicia la acumulación de materia seca, y reporta que los nutrientes se acumulan en las hojas y terminan en los frutos. Esto coincide con lo presentado en esta investigación en la cual la acumulación de biomasa seca foliar es mayor que la biomasa seca de los frutos a los 78 ddt en todas las accesiones bajo estudio.

### **Biomasa seca tallos (g)**

En la Figura 11 se presenta la biomasa seca tallos (g) de las tres accesiones de ají, y se puede observar la tendencia de crecimiento continuo en todas, desde los 43 ddt hasta los 85 ddt en los que finalizó el ensayo. A pesar de que se mantuvo la acumulación de biomasa seca en tallos

durante todo el ensayo, a los 85 ddt la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó el valor máximo de acumulación de biomasa seca (37,19 g), seguido por OSP-HOR-10-988 (32,19 g) y finalmente, OSP-HOR-14-726 (11,91 g).

En las tres accesiones se evidencia un aumento notorio que coincide con la fase de floración entre los 57 y 64 ddt. Luego, entre los 64 y 71 ddt no se nota ningún efecto negativo en la acumulación de biomasa seca de los tallos a pesar de que hubo fallas en el suministro de agua para ese período de tiempo. Las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048 mantuvieron la acumulación de materia seca ligeramente constante entre los 71 y 78 ddt en los cuales todas las accesiones estaban en la fase de fructificación. Para el mismo lapso de tiempo entre los 71 y 78 ddt, la accesión OSP-HOR-10-988 mostró un incremento notable en la acumulación de biomasa seca de tallos probablemente como una respuesta positiva ante la restitución del suministro de agua adecuado.



**Figura 11.** Biomasa seca tallos (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 12, se presenta la comparación de medias para biomasa seca tallos promedio (g) de las tres accesiones de ají en estudio y se observa que dicha variable fue altamente significativa para todos los muestreos realizados durante la evaluación de acuerdo a las pruebas de Bonferroni y Kruskal – Wallis. Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) con respecto a OSP-HOR-14-726 durante todas las fases fenológicas del cultivo, lo cual indica que las dos primeras accesiones acumularon biomasa seca

en los tallos de manera similar mientras que la acumulación de biomasa seca en última accesión mencionada fue mucho menor.

Cabe destacar que a los 78 ddt en los que todas las accesiones se encontraban en la fase de fructificación, se formaron tres grupos (a, b y c) estadísticamente significativos que indican claramente que a pesar de que las tres accesiones acumularon biomasa seca en los tallos durante la fase de fructificación, la accesión OSP-HOR-10-988 fue la que presentó el mayor valor (27,57<sup>a</sup> g), seguida por las accesión OSP-HOR-12-1048 (19,15<sup>b</sup> g) y por último, la accesión OSP-HOR-14-726 (8,43<sup>c</sup> g).

**Cuadro 12.** Comparación de medias para biomasa seca tallos promedio (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Biomasa seca tallos promedio (g)						
	43 ddt	50 ddt	57 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	0,60 <sup>b</sup>	1,50 <sup>b</sup>	**	6,37 <sup>b</sup>	**	8,43 <sup>c</sup>	11,91 <sup>b</sup>
OSP-HOR-10-988	2,75 <sup>a</sup>	5,57 <sup>a</sup>	**	11,13 <sup>a</sup>	**	27,57 <sup>a</sup>	32,19 <sup>a</sup>
OSP-HOR-12-1048	2,94 <sup>a</sup>	4,39 <sup>a</sup>	**	9,41 <sup>ab</sup>	**	19,15 <sup>b</sup>	37,19 <sup>a</sup>
C.V. (%)	41,47	31,99	-	22,72	-	19,21	21,51

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) según prueba de Bonferroni. Los \*\* indican diferencias altamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,01$ ). Días después del trasplante (ddt).

En pimiento (*C. annuum*), Alemán *et al.* (2018), reportaron un valor de 9,5 g de materia seca en tallos a nivel de invernadero a los 72 ddt, siendo mucho más alto para las mismas plantas sembradas a campo abierto. En el presente estudio, la acumulación de biomasa fue mucho mayor que los reportados por los autores antes mencionados, ya que a los 71 ddt el valor más alto fue 18,09 g en la accesión OSP-HOR-12-1048.

Por su parte, Pezua (2019), evaluó la acumulación de biomasa seca de tallos en diez selecciones de ají escabeche (*C. baccatum* var. *pendulum*) y reportó que no hubo diferencias significativas entre ellas. Sus resultados difieren de la presente investigación, ya que esta variable tuvo diferencias significativas en los siete muestreos realizados. Sin embargo, reportó que a los 142 ddt

el mínimo valor fue de 92,37 g para la accesión LM-004, mientras que la selección LM-007 fue superior al resto de las accesiones evaluadas presentando un valor máximo de 166,80 g. Estos valores difieren de los valores obtenidos en este estudio, debido a que son menores considerando que las evaluaciones se realizaron en menor cantidad de días, por lo que a los 85 ddt la accesión con mayor acumulación de biomasa seca de tallo fue OSP-HOR-12-1048 (37,19 g) y la de menor valor fue OSP-HOR-14-726 (11,91 g), demostrando que hubo diferencias significativas.

En contraste, Reggeti (2018), en su investigación en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.) reportó valores entre 0,18 y 7,76 g en cuanto a la acumulación de biomasa seca de tallo durante 100 ddt, siendo valores bajos en comparación con los obtenidos en ésta investigación. Sin embargo, sus valores pueden ser comparables con la accesión OSP-HOR-14-726.

Delelegn (2011), demostró que hubo diferencias altamente significativas en la acumulación de materia seca en tallo entre las nueve variedades de ají (*Capsicum* spp.), presentando valores entre 14,71 g y 56,63 g. Estos resultados coinciden con los reportados en el presente estudio en cuanto a las diferencias significativas entre accesiones, además los resultados obtenidos están entre el rango de valores reportados por Delelegn (2011) en su investigación.

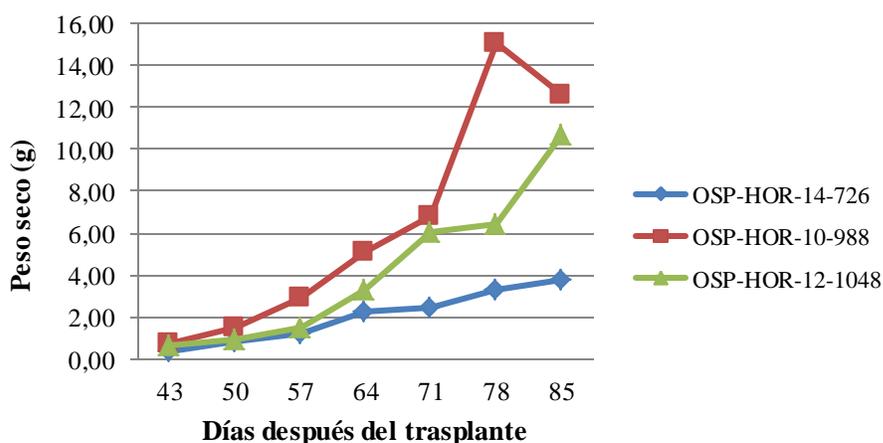
### **Biomasa seca radical (g)**

En la Figura 12, se presenta la biomasa seca radical (g) de las tres accesiones de ají en la cual se puede observar un aumento constante desde los 43 ddt hasta los 85 ddt en todas las accesiones en bajo estudio. Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores muy superiores en comparación con OSP-HOR-14-726 en cuanto a la acumulación de biomasa seca radical.

Como se ha mencionado anteriormente, entre los 64 y 71 ddt hubo fallas en el riego y a pesar de ese evento desfavorable para las plantas, no hubo ninguna influencia negativa en la acumulación de biomasa seca en las raíces de ninguna de las tres accesiones evaluadas, coincidiendo todas con la fase de floración e inicio de la fase de fructificación. Sin embargo, la accesión OSP-HOR-10-988 presentó el mayor valor de biomasa seca (15,07 g) a los 78 ddt y esto pudo deberse a que se restituyó el suministro de agua entre los 71 y 78 ddt, lo cual permitió que las plantas desarrollaran mayor número de raíces y por lo tanto se acumulara biomasa seca en ellas. Posteriormente, hubo una disminución a los 85 ddt (12,64 g) probablemente por la falta de

suministro de agua para el riego correspondiente a esa semana de evaluación, misma que coincidió con la fase de fructificación.

También a los 85 ddt, las accesiones OSP-HOR-12-1048 y OSP-HOR-14-726 presentaron valores máximos de 10,70 g y 3,78 g, respectivamente. Esto indica que acumularon biomasa seca radical aun cuando se presentaron dos fallas en el suministro de agua durante la fase de floración y fructificación, lo que permite inferir que no hubo efectos negativos ante esa condición de estrés hídrico.



**Figura 12.** Biomasa seca radical (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 13, se presenta la comparación de medias para biomasa seca radical promedio (g) de las tres accesiones de ají en estudio y se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) a los 71 ddt de acuerdo a la prueba de Bonferroni, demostrando que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 acumularon biomasa seca en sus raíces de forma similar y ambas presentaron valores superiores a la accesión OSP-HOR-14-726 durante la fase de floración e inicio de la fase de fructificación.

Para los muestreos a los 50, 64, 78 y 85 ddt dicha variable presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) según la prueba de Kruskal – Wallis entre las tres accesiones y prácticamente durante todas las fases fenológicas del cultivo. Aun cuando no se puede definir cuales accesiones fueron diferentes, se puede observar en la Figura 8-A que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 tuvieron una tendencia similar en cuanto a la

acumulación de biomasa seca radical, mientras que la accesión OSP-HOR-14-726 mantuvo valores notablemente inferiores durante esas fechas de muestreo.

**Cuadro 13.** Comparación de medias para biomasa seca radical promedio (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Biomasa seca radical promedio (g)				
	50 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	**	**	2,48 <sup>b</sup>	**	**
OSP-HOR-10-988	**	**	6,80 <sup>a</sup>	**	**
OSP-HOR-12-1048	**	**	6,03 <sup>ab</sup>	**	**
C.V. (%)	-	-	44,42	-	-

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) según prueba de Bonferroni. Los \*\* indican diferencias altamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,01$ ). Días después del trasplante (ddt).

En su investigación, Alemán *et al.* (2018), reportaron un valor de 2,3 g de materia seca radical en pimiento (*C. annuum*) a nivel de invernadero a los 72 ddt, pero a pesar de que este valor fue mayor que el reportado para las mismas plantas sembradas a campo abierto, no hubo diferencias significativas en la acumulación de biomasa radical en ambas condiciones de siembra. Los resultados de la presente investigación difieren de los resultados expuestos anteriormente, ya que la acumulación de biomasa en raíces fue estadísticamente significativa los 71 ddt, siendo el valor más alto de 6,80 g en la accesión OSP-HOR-10-988, seguida por OSP-HOR-12-1048 con 6,03 g y finalmente, el valor mínimo de 2,48 g en OSP-HOR-14-726. Por su parte, Reggeti (2018) reportó un valor de 5,16 g en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.), lo cual se asemeja a los valores obtenidos en esta investigación a los 71 ddt para las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048.

Por su parte, Delelegn (2011), demostró que hubo diferencias significativas entre nueve accesiones de ají (*Capsicum* spp.) en relación a la acumulación de materia seca en raíces, presentando valores entre 3,43 g y 6,70 g. Estos valores son similares a los reportados en el presente estudio para los 71 ddt, sin embargo, en las evaluaciones finales en el ensayo se

reportaron valores superiores, tales como 15,07 g para OSP-HOR-14-726 a los 78 ddt, 12,64 g para OSP-HOR-10-988 y 10,70 g para OSP-HOR-12-1048 a los 85 ddt.

Cabe destacar que, el hecho de que las tres accesiones mantuvieran un constante aumento de materia seca en las raíces durante todo el ensayo, especialmente entre los 64 y 71 ddt período en el cual se experimentó un corto déficit hídrico, permite inferir que fueron capaces de utilizar eficientemente los fotoasimilados. Aunque en este estudio no se conoce la magnitud del déficit hídrico en cuanto a la disponibilidad de agua requerida por las plantas en ese período de tiempo, es importante resaltar que resultados similares fueron obtenidos por Sinaga *et al.* (2020), quienes reportaron que hubo diferencias significativas en la acumulación de materia seca radical en tres genotipos de pimiento cayena (*C. frutescens*) al evaluar diferentes porcentajes de disponibilidad de agua. Esto pone en evidencia que bajo condiciones de estrés hídrico las plantas responden de manera diferente dependiendo del genotipo, la duración y la fase de crecimiento en la que se encuentren.

#### **Biomasa seca de frutos (g)**

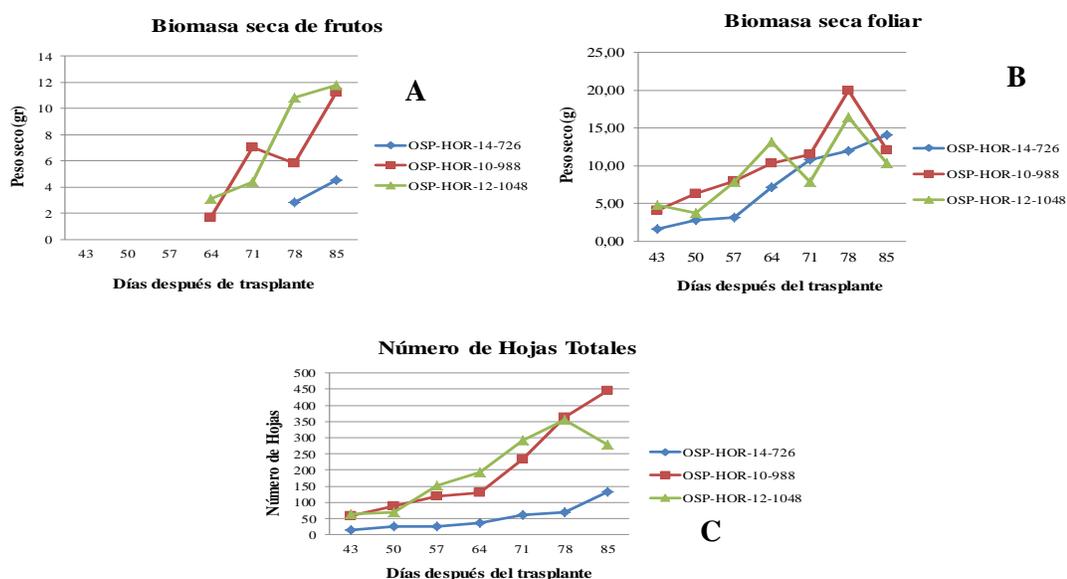
En la Figura 13-A, se presenta la biomasa seca de frutos (g) de las tres accesiones de ají en la cual se muestra que a los 64 ddt las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron frutos y por lo tanto hubo acumulación de biomasa seca de los mismos hasta los 85 ddt. Sin embargo, cabe resaltar que la accesión OSP-HOR-14-726 presentó frutos a los 78 y 85 ddt.

La accesión OSP-HOR-12-1048 muestra un aumento constante de materia seca de los frutos durante las últimas cuatro fechas de muestreo, siendo el valor máximo de 11,75 g a los 85 ddt. Es importante resaltar que, a pesar de que hubo fallas en el riego entre los 64 y 71 ddt se presentó la primera falla en el riego hubo acumulación de materia seca en los frutos (Figura 11-A), disminuyendo también la biomasa seca foliar (Figura 13-B) debido a que los fotoasimilados se dirigieron a la formación y desarrollo de los frutos. Sin embargo, entre los 71 y 78 ddt, hubo un incremento considerable en la acumulación de biomasa seca en los frutos, en la biomasa seca foliar y hubo una continua la producción de hojas (Figura 13 B y C), lo que indica que al restituir el suministro adecuado de agua las plantas pudieron producir suficientes fotoasimilados para la

acumulación de biomasa en todos sus órganos. El incremento de materia seca en los frutos continuó hasta los 85 ddt, momento para el cual el ensayo concluyó.

En cuanto a la accesión OSP-HOR-10-988 se puede notar que entre los 64 y 71 ddt hubo un incremento en la acumulación de biomasa seca en los frutos, así como en la biomasa foliar y el número de hojas. Sin embargo, en los 71 y 78 ddt se observa una disminución de la biomasa seca en los frutos, pero en contraste, hubo un incremento notable en la acumulación de biomasa foliar lo que indica que al posiblemente al restituir el riego adecuado, las plantas invirtieron sus fotoasimilados para la acumulación de materia seca foliar, disminuyendo su movilización hacia los frutos. Entre los 78 y 85 ddt, se nota un aumento considerable de materia seca en los frutos y, por el contrario, no hubo acumulación de biomasa seca foliar (Figura 13-B) probablemente debido a que las plantas invirtieron los fotoasimilados en el desarrollo y crecimiento de los frutos como mecanismo de supervivencia ante la falta de suficiente agua.

En relación a la accesión OSP-HOR-14-726, la cual presentó frutos a los 78 y 85 ddt y registró un aumento entre esas fechas a pesar de que hubo una falla en el suministro de agua, así como también presentó un aumento en la acumulación de biomasa seca foliar y en el número de hojas (Figura 13 A, B y C). Esto indica que no se evidencia ninguna influencia negativa a consecuencia de la falta de agua.



**Figura 13.** A) Biomasa seca de frutos (g); B) Biomasa seca foliar (g); C) Número de hojas de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 14, se presenta la comparación de medias para biomasa seca de frutos promedio (g) de las tres accesiones de ají en estudio y se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) a los 78 ddt de acuerdo a la prueba de Bonferroni, demostrando que la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó un valor mayor (10,80<sup>a</sup> g) en la acumulación de biomasa seca en frutos con respecto a las accesiones OSP-HOR-14-726 (2,81<sup>b</sup> g) y OSP-HOR-10-988 (5,83<sup>b</sup> g), las cuales acumularon biomasa seca en sus frutos de manera similar.

Cabe destacar que para los 64 y 71 ddt, las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 se encontraban en la fase de floración e inicio de la fructificación, y fueron las que presentaron frutos durante esos muestreos, por lo que se decidió realizar la prueba de *t* de Student en la cual hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre ambas accesiones con respecto a la acumulación de biomasa seca de frutos. Estos resultados indican la accesión OSP-HOR-14-726 tardó mucho más tiempo en fructificar (78 ddt) en comparación con las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 (64 ddt).

**Cuadro 14.** Comparación de medias para biomasa seca de frutos promedio (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

<b>Biomasa seca de frutos promedio (g)</b>	
<b>Accesiones</b>	<b>78 ddt</b>
OSP-HOR-14-726	2,81 <sup>b</sup>
OSP-HOR-10-988	5,83 <sup>b</sup>
OSP-HOR-12-1048	10,80 <sup>a</sup>
C.V. (%)	38,37

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) según prueba de Bonferroni. Días después del trasplante (ddt).

Con respecto a la variable de biomasa seca de frutos, Alemán *et al.* (2018), obtuvieron un valor de 17,9 g a los 72 ddt en pimiento (*C. annuum*) sembradas en invernadero, y demostraron que hubo diferencias significativas con respecto a las plantas sembradas a campo abierto, las cuales obtuvieron un valor de 9,5 g. Estos resultados difieren a los obtenidos en el presente estudio, debido a que bajo condiciones de invernadero, hubo diferencias significativas entre las accesiones

OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 a los 71 ddt, recordando que la accesión OSP-HOR-14-726 no presentó frutos para ese muestreo. A los 78 ddt, los valores obtenidos están por debajo ya que el valor máximo fue reportado por la accesión OSP-HOR-12-1048 (10,80 g) indicando que hubo diferencias altamente significativas con respecto a la accesión OSP-HOR-10-988 (5,83 g) y OSP-HOR-14-726 (2,81 g). En ese mismo orden de ideas, Delelegn (2011), reportó diferencias altamente significativas entre nueve variedades de ají (*Capsicum* spp.) en relación a la acumulación de materia seca en frutos, y presentó valores entre 2,07 g y 6,75 g.

Del mismo modo, Azofeifa y Moreira (2004), señalan que el peso de los frutos de chile jalapeño (*C. annum* cv Hot) aumentó durante todo el ciclo y reportaron un valor de 0,21 g a los 68 días después de la siembra (dds) y un valor de 2,62 g a los 82 dds, además mostró los mayores incrementos entre los 82 y 124 dds. En la presente investigación, se puede observar que a partir de los 64 ddt los frutos comenzaron a formar parte de la biomasa seca en las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048, presentando valores superiores de 1,68 g y 3,14 g, respectivamente. De igual modo, a los 85 ddt las tres accesiones presentaron valores superiores de 4,52 g para OSP-HOR-14-726, 11,22 g OSP-HOR-10-988 y 11,75 g para OSP-HOR-12-1048. De esta manera, se puede notar que los resultados de ambas investigaciones difieren entre sí.

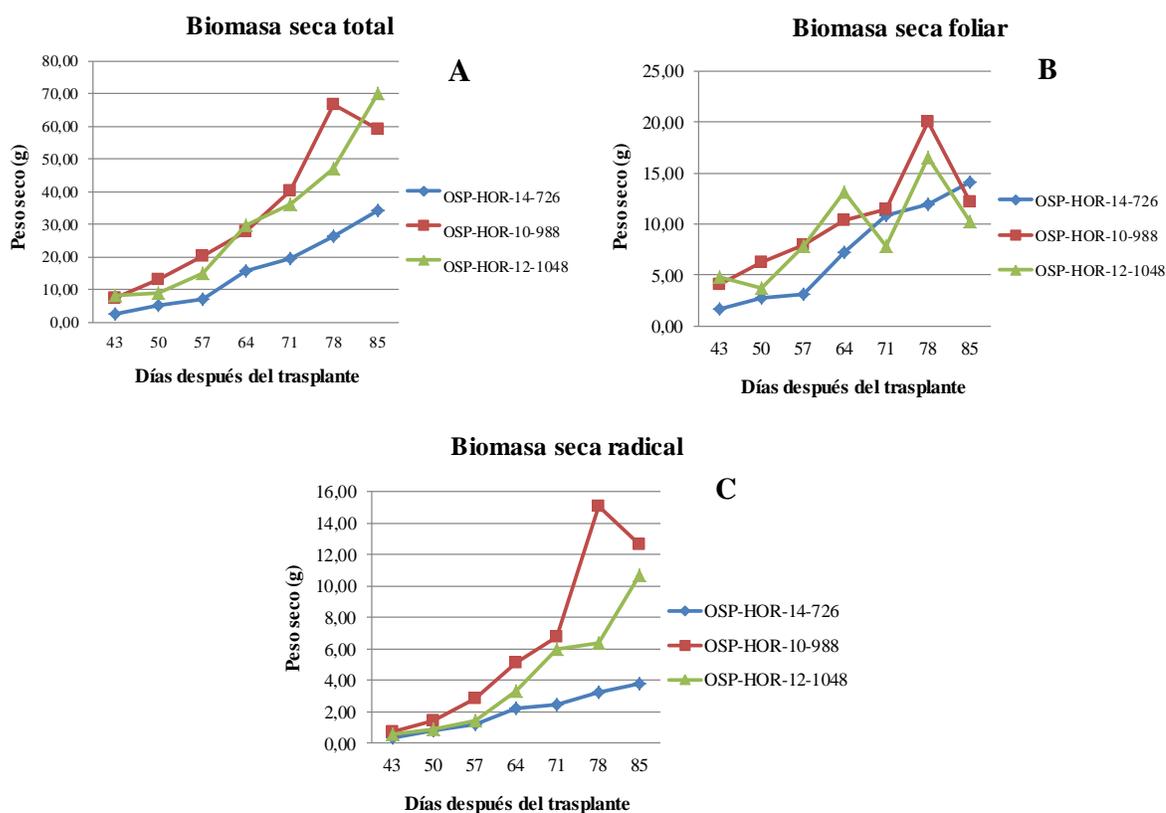
De igual manera, Méndez *et al.* (2004), evaluaron el crecimiento de cuatro accesiones de ají identificadas como CS-003 (*C. chinense*), CS-032 (*C. annum*), CS-049 (*C. annum*) y CS-170 (*C. baccatum*), demostró que hubo diferencias significativas entre ellas siendo CS-003 la que presentó los mayores promedios, lo cual significó que en esta accesión ocurrió una alta acumulación de sintetizados de reserva.

### **Biomasa seca total (g)**

En la Figura 14-A, se presenta la biomasa seca total (g) de las tres accesiones de ají en la cual se muestra un continuo aumento en la acumulación de materia seca en general, dentro del cual se incluye la biomasa seca foliar, de tallos, de raíces y de frutos. Las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048 muestran valores en ascenso hasta los 85 ddt en los que alcanzaron los valores máximos de 34,29 g y 69,93 g, respectivamente. Sin embargo, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó los valores más bajos de acumulación de biomasa seca. Es importante resaltar que

a pesar de que hubo dos fallas en el riego durante el desarrollo de la investigación, éstas no repercutieron negativamente en la acumulación de materia seca.

En el caso particular de la accesión OSP-HOR-10-988 mostró una acumulación de materia seca en aumento como la presentada por las otras dos accesiones, sin embargo hubo una disminución en la acumulación de biomasa seca total entre los 78 y 85 ddt, misma que pudo deberse a la disminución de biomasa seca foliar y radical en el mismo lapso de tiempo como consecuencia de las fallas en el suministro adecuado de agua (Figura 14 B y C).



**Figura 14.** A) Biomasa seca total (g); B) Biomasa seca foliar (g); C) Biomasa seca radical de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 15, se presenta la comparación de medias para biomasa seca total promedio (g) de las tres accesiones de ají en estudio y se observan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) a los 43, 50, 64, 71 y 78 ddt de acuerdo a la prueba de Bonferroni, demostrando que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 acumularon biomasa seca total de manera similar y que ambas presentaron valores superiores a la accesión OSP-HOR-14-726 durante la fase vegetativa, de floración y de fructificación. Sin embargo, a los 78 ddt las tres accesiones conforman tres

grupos diferentes en los que se denota que para la fase de fructificación hay diferencias en la acumulación de materia seca total, siendo OSP-HOR-10-988 la de mayor valor (66,81<sup>a</sup> g), seguida por OSP-HOR-12-1048 (46,96<sup>b</sup> g) y finalmente OSP-HOR-14-726 con el menor valor (26,46<sup>c</sup> g).

En cuanto a los 57 y 85 ddt, todas las accesiones presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) de acuerdo a la prueba de Kruskal – Wallis, y aún cuando no se puede definir cuales accesiones fueron diferentes, se puede observar en la Figura 11-A que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 tuvieron una tendencia similar en cuanto a la acumulación de biomasa seca total por encima de la accesión OSP-HOR-14-726, la cual mantuvo valores notablemente inferiores durante esas fechas de muestreo en las que todas se encontraban en la fase de inicio de floración (57 ddt) y la fase de fructificación (85 ddt).

**Cuadro 15.** Comparación de medias para biomasa seca total promedio de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Biomasa seca total promedio (g)						
	43 ddt	50 ddt	57 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	2,63 <sup>b</sup>	5,09 <sup>b</sup>	**	15,83 <sup>b</sup>	19,64 <sup>b</sup>	26,46 <sup>c</sup>	**
OSP-HOR-10-988	7,54 <sup>a</sup>	13,32 <sup>a</sup>	**	27,82 <sup>ab</sup>	40,46 <sup>a</sup>	66,81 <sup>a</sup>	**
OSP-HOR-12-1048	8,32 <sup>a</sup>	8,99 <sup>ab</sup>	**	29,65 <sup>a</sup>	36,31 <sup>a</sup>	46,96 <sup>b</sup>	**
C.V. (%)	39,88	28,93	-	28,64	18,56	20,68	-

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni. Los \*\* indican diferencias altamente significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,01$ ). Días después del trasplante (ddt).

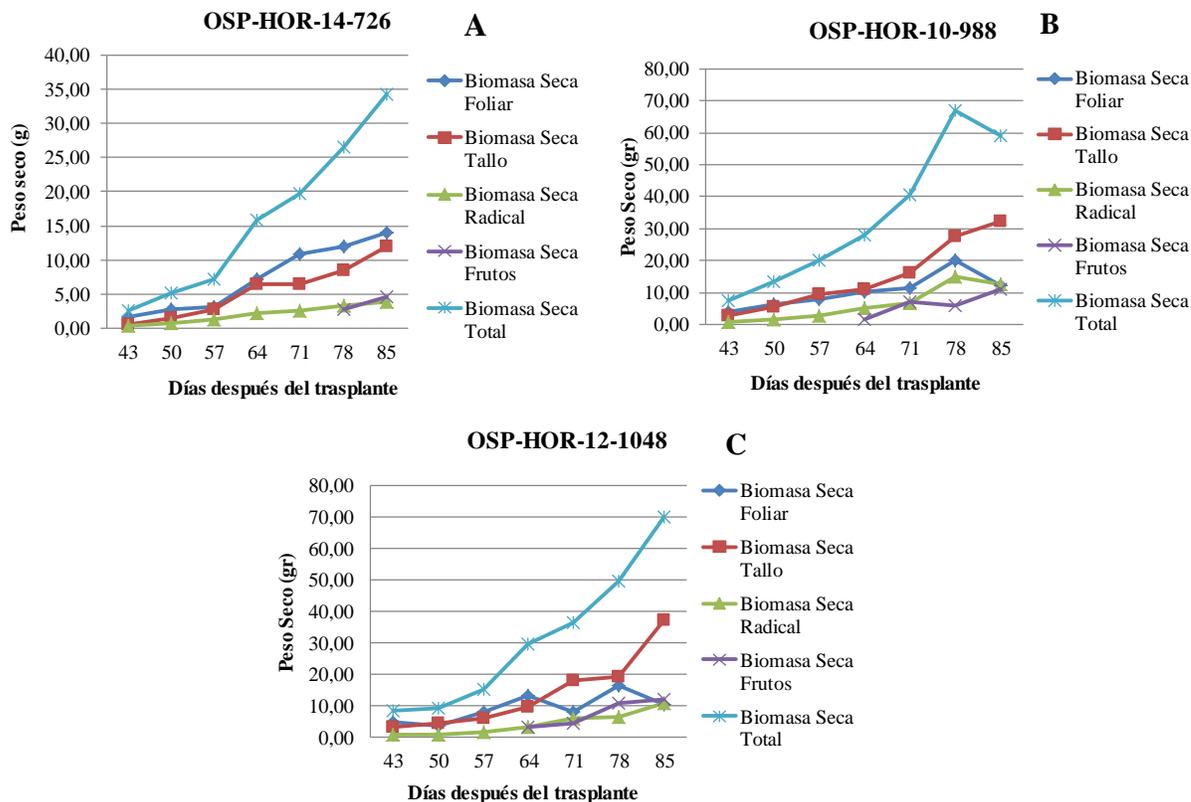
En la Figura 15, se observan detalladamente cada una las accesiones con sus tendencias en cuanto a la biomasa seca foliar, tallo, radical, fruto y total. En este sentido, se nota un continuo aumento de materia seca en casi todas las fechas de muestreo debido a que en la accesión OSP-HOR-10-988 hubo una disminución entre los 78 y 85 ddt probablemente a razón de fallas en el suministro de agua. De acuerdo a la distribución de materia seca se puede apreciar que para la accesión OSP-HOR-14-726 (Figura 15-A) la tendencia va en orden decreciente en donde las hojas

acumularon más biomasa seca que los tallos y esos a su vez, más que las raíces en todos los muestreos (43 – 85 ddt).

En el caso de la accesión OSP-HOR-10-988 (Figura 15-B), la acumulación cambió dependiendo de la fase fenológica en la que las plantas se encontraban. En la fase vegetativa (43-50 ddt) las hojas y los tallos acumularon materia seca de manera similar y superior a la acumulación en las raíces, pero ya para la fase en la que la floración inició y durante la fase de fructificación, la acumulación fue mayor en tallos, seguido en las hojas, luego en las raíces y finalmente en los frutos (57 - 85 ddt).

En cuanto a la accesión OSP-HOR-12-1048 (Figura 15-C) también la acumulación cambió dependiendo de la fase fenológica en la que las plantas se encontraban. En la fase vegetativa (43-50 ddt) las hojas y los tallos acumularon materia seca de manera similar y superior a la acumulación en las raíces, pero ya para la fase en la que se inició la floración e inicio la fase de fructificación, la acumulación fue mayor en hojas, seguido en los tallos y luego en las raíces (57 – 64 ddt). En la fase de fructificación, la acumulación de materia seca fue mayor en tallos, luego en hojas, en raíces y finalmente en los frutos (71 - 85 ddt).

En este sentido, algunos autores han reportado distintos patrones en cuanto a la distribución de la materia seca en los diferentes órganos de las plantas del género *Capsicum*. De este modo, Trujillo (2021), señala que el contenido de materia seca en ají escabeche (*C. baccatum* L. var. *pendulum*) estuvo distribuido mayormente en tallos, y luego en orden decreciente en hojas y frutos; esta tendencia es similar a la obtenida por la accesión OSP-HOR-10-988 en esta investigación. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, López *et al.* (2017), y Peña y Zenner (2015), señalan que altos porcentajes de materia seca de la parte aérea de las plantas de *C. annuum* indican mayor número de hojas (órgano fuente) y por lo tanto, mayor producción de fotoasimilados para el llenado de los órganos exigentes. Esto coincide con Reggeti (2018), al presentar mayor acumulación de biomasa seca en hojas que en el resto de los órganos de las planta de ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.). En contraste, Sánchez (2014), reportó que la acumulación de materia seca se encontró principalmente en frutos, y luego en orden decreciente en raíces, tallos y hojas; siendo estos resultados totalmente diferentes a los obtenidos en este estudio.



**Figura 15.** Biomasa seca foliar, tallo, radical, frutos y total (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. A) OSP-HOR-14-726; B) OSP-HOR-10-988; C) OSP-HOR-12-1048, durante el ensayo.

Cabe destacar, que muchas de las investigaciones consultadas han realizado sus evaluaciones con mayor número de días, pasando de los 100 días después de la siembra o trasplante, por lo que eso les permitió evaluar los cultivos con mayor detalle, especialmente en la fase de fructificación. En el caso del presente estudio, las tres accesiones se evaluaron hasta los 85 ddt, lo cual conllevó a obtener poca cantidad de frutos en comparación con otras investigaciones científicas. En este orden de ideas, Trujillo (2021), y Paredes (2017), concuerdan en que el mayor número de frutos y de mayor tamaño se producen durante el primer ciclo de fructificación (entre los 90 y 100 días). Por su parte, Ramírez *et al.* (2005), López *et al.* (2017), y Alemán *et al.* (2018), mencionan que las plantas de chile habanero desarrolladas en invernadero tienen mayor número de flores y frutos, pero con fruto pequeño y de menor peso, en contraste con la producción en campo en el que se obtienen frutos grandes señalando diferencias significativas entre ambas condiciones.

### Variables morfológicas de órganos vegetativos. Muestreos no destructivos.

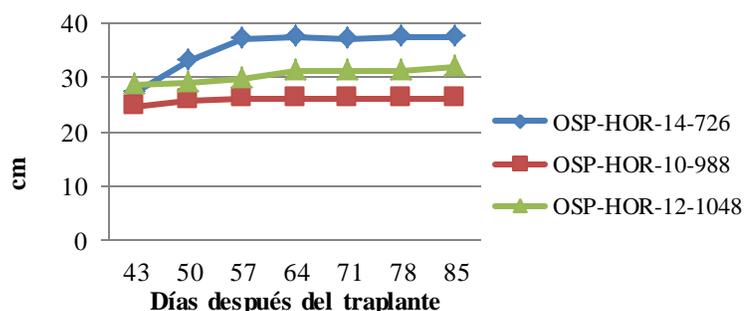
Se verificaron los supuestos del análisis de la varianza a todas las variables en estudio en cada una de las tres accesiones de ají. Las variables que cumplieron con los supuestos se analizaron por la vía paramétrica mediante el uso de la prueba de Bonferroni.

De acuerdo a la prueba de Bonferroni, las variables altamente significativas ( $p < 0,01$ ) fueron altura de planta a los 50, 57, 64, 71, 78 y 85 ddt; diámetro de tallo en todos muestreos (43, 50, 57, 64, 71, 78 y 85 ddt); y SPAD a los 71 ddt. La variable SPAD fue significativa ( $p < 0,05$ ) a los 78 y 85 ddt.

#### Altura de planta (cm)

En la Figura 16, se presenta la altura de planta (cm) de las tres accesiones de ají en la cual se muestra claramente que la accesión OSP-HOR-14-726 fue la más alta, seguida de la accesión OSP-HOR-12-1048, y por último la accesión OSP-HOR-10-988. Sin embargo, también puede observarse que luego de los 57 ddt en adelante, las tres accesiones mantuvieron sus valores constantes durante todo el ensayo.

La accesión OSP-HOR-14-726 presentó un continuo aumento en altura entre los 43, 50 y 57 ddt coincidiendo con la fase vegetativa, pero luego de esa fecha mantuvo su altura constante entre 37,20 – 37,44 cm hasta los 85 ddt. Para el caso de la accesión OSP-HOR-12-1048, el comportamiento fue similar debido a que hubo un ligero aumento en altura a partir de los 57 ddt, en los cuales los valores se mantuvieron entre 31,33 – 32,03 cm. En cuanto a la accesión OSP-HOR-10-988, presentó un ligero aumento de forma continua en altura a partir hasta los 57 ddt y posteriormente se mantuvo con valores constantes entre 26,02 – 26,24 cm.



**Figura 16.** Altura de planta (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 16, se presenta la comparación de medias para altura de planta promedio (cm) de las tres accesiones de ají en estudio y se observan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) a los 50, 57, 64, 71, 78 y 85 ddt de acuerdo a la prueba de Bonferroni, demostrando que a los 50 ddt las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048 tuvieron un crecimiento en altura similar que las separa de la accesión OSP-HOR-10-988, misma que presentó un valor menor. En cuanto a los 57 ddt, hubo diferencias entre la accesión OSP-HOR-14-726 la cual presentó un valor mayor con respecto a las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 que presentaron valores e inferiores. Cabe resaltar que para los 50, 57 y 64 ddt todas las accesiones se encontraban en la fase vegetativa, fase de floración e inicios de la fase de fructificación.

Sin embargo, a partir de los 64 ddt en adelante en los cuales se inició la fase de fructificación, las tres accesiones muestran diferencias entre ellas en cuanto al crecimiento en altura (cm), mismo que se manifiesta en la formación de tres grupos (a, b y c) en los cuales se evidencia que la accesión OSP-HOR-14-726 se posiciona por encima de las demás, seguida por OSP-HOR-12-1048, y finalmente OSP-HOR-10-988. Estos resultados permiten inferir que las plantas de las tres accesiones alcanzaron una altura constante al llegar a la fase de fructificación, en la que la distribución de los fotoasimilados se dirige a aquellos órganos que sí los requieren para su desarrollo y crecimiento, como es el caso particular de los frutos.

**Cuadro 16.** Comparación de medias para altura de planta promedio (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Altura de planta promedio (cm)					
	50 ddt	57 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	32,86 <sup>a</sup>	37,20 <sup>a</sup>	37,26 <sup>a</sup>	37,26 <sup>a</sup>	37,26 <sup>a</sup>	37,44 <sup>a</sup>
OSP-HOR-10-988	25,64 <sup>b</sup>	25,98 <sup>b</sup>	26,02 <sup>c</sup>	26,10 <sup>c</sup>	26,20 <sup>c</sup>	26,24 <sup>c</sup>
OSP-HOR-12-1048	28,87 <sup>ab</sup>	29,70 <sup>b</sup>	31,33 <sup>b</sup>	31,33 <sup>b</sup>	31,33 <sup>b</sup>	32,03 <sup>b</sup>
C.V. (%)	10,68	7,66	6,37	6,42	6,41	6,47

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni. Días después del trasplante (ddt).

En este sentido, San Juan (2022), reportó diferencias significativas entre los tres genotipos de *C. annum*, de los cuales sobresalieron el chile pasilla (98 cm) y el chile huacle (95 cm) sobre el chile de agua (67 cm) a los 120 ddt. Estos resultados difieren de los presentados en este estudio, debido a que sus evaluaciones se realizaron a mayor cantidad de días de trasplante y reportó valores mucho mayores.

En su evaluación, Zúñiga (2021), reportó que la variable de altura de planta no fue significativa en ocho líneas avanzadas del ají tipo cayenne (*C. annuum*) en cual presentó valores comprendidos entre 66,33 – 79,77 cm, siendo mucho mayores que los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, hubo diferencias significativas en los dos genotipos de ají tipo jalapeño (*C. annuum* var *annuum*) con valores de 79,5 cm y 63 cm. De igual manera, hubo diferencias significativas entre nueve genotipos de ají tipo habanero (*C. chinense*) presentando valores entre 84,46 cm y 61,62 cm. Finalmente, reportó diferencias significativas entre seis genotipos de ají tipo tabasco (*C. frutescens*) con valores entre 91,85 cm y 73,69 cm. Estos resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación debido a que son superiores a los reportados por las tres accesiones evaluadas.

Castillo (2019), evaluó 16 accesiones de diferentes especies de *Capsicum* que se distribuyeron de la siguiente manera: dos accesiones de *C. annum*, seis accesiones de *C. baccatum* y ocho accesiones de *C. chinense*. Señaló que las evaluaciones se realizaron al inicio de la fase de floración, misma que fue diferente para cada una de las accesiones entre los 42 y 64 ddt. Además, reportó que hubo diferencias significativas en cuanto a la altura de planta para las diferentes especies, a saber: 30,21 cm y 34,67 cm para *C. annum*, 58,7 cm – 38,23 cm para *C. baccatum* y 45,83 – 18,95 cm para *C. chinense*. Estos resultados pueden catalogarse como similares a los obtenidos en esta investigación, debido a que a los 57 ddt las plantas estaban en la fase de floración y los valores de las tres accesiones están dentro del rango presentado por Castillo.

Por su parte, Brillhante *et al.* (2021), obtuvieron que para *C. chinense*, *C. baccatum* var. *pendulum*, *C. frutescens* y *C. annuum* var. *glabriusculum*, hubo diferencias significativas en relación a la altura de planta y que los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 19,97 y 95,67 cm. Los valores reportados en esta investigación están dentro de ese rango de valores (25,64 y 37,44 cm), sin embargo, se mantienen por debajo del valor máximo señalado por los autores anteriormente mencionados. De la misma manera, Santos (2019) , reportó que la variable de altura

de planta presentó diferencias significativas a los 60 y 90 ddt para las tres accesiones de ají paprika (*C. annuum*), y obtuvo valores entre 57 – 51 cm a los 60 ddt, y 80 – 86 cm a los 90 ddt, siendo estos valores superiores a los obtenidos en este estudio en los cuales el valor más alto es de 37,44 cm a los 85 ddt.

Del mismo modo, Elizondo y Monge (2016) reportaron que hubo diferencias significativas entre los 12 genotipos de *C. annuum* evaluados y que presentaron valores entre 1,26 m (126 cm) y 1,71 m (171 cm) a los 209 ddt. Estos resultados superan a los obtenidos en la presente investigación, además sus evaluaciones se realizaron en mayor cantidad de días después del trasplante, lo cual les permitió hacer mayor cantidad de observaciones en cuanto a la altura de las plantas. Valores parecidos obtuvieron Alemán *et al.* (2018), en pimiento (*C. annuum*), reportando que en condiciones de invernadero la altura de las plantas fue de 132 cm a los 72 ddt, siendo un valor realmente alto en comparación con los obtenidos en esta investigación.

Asimismo, Abello (2016), encontró diferencias significativas en ocho accesiones de ají dulce (*C. chinense*), y reportó valores entre 73,57 y 44,10 cm, mismos que superan a los obtenidos en las tres accesiones bajo estudio. Por su parte, Reggeti (2018) reportó valores entre 19,08 y 28,50 cm en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.), siendo valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio. En contraste, Cruz *et al.* (2019), al evaluar diferentes densidades de siembra de ají paprika (*C. annuum* var. bella, no encontraron diferencias significativas para esta variable. De igual manera, Jiménez (2012), reportó que no hubo diferencias significativas en tres genotipos de (*C. chinense*).

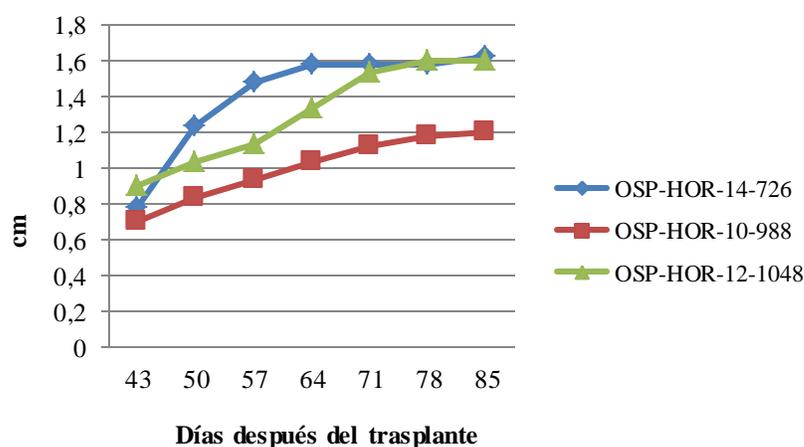
En este sentido, y de acuerdo a todas las investigaciones anteriormente consultadas, es necesario destacar que en el género *Capsicum* existe gran variabilidad en cuanto a la altura de las plantas y esta variable permite caracterizar el crecimiento entre genotipos. En esta investigación, se corrobora que en condiciones de invernadero, las accesiones OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 mostraron diferencias entre ellas en cuanto a su crecimiento en altura (cm).

### **Diámetro de tallo (cm)**

En la Figura 17, se presenta el diámetro de tallo (cm) de las tres accesiones de ají en la cual se muestra que la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó valores más altos a partir de los 57

ddt y seguidamente presentó un aumento en el diámetro de tallo hasta los 64 ddt en los cuales las plantas estaban en la fase de floración e inicio de la fase de fructificación. Luego se mantuvo constante entre los 64 y 78 ddt (1,58 cm), aumentando levemente a los 85 ddt (1,62 cm).

La accesión OSP-HOR-12-1048 mostró un aumento constante en el diámetro de tallos desde los 43 ddt (0,9 cm) hasta los 78 ddt, manteniendo el mismo valor tanto para los 78 y 85 ddt (1,6 cm) en los cuales las plantas se encontraban en la fase de fructificación. Para la accesión OSP-HOR-10-988 muestra de igual manera un aumento constante del diámetro de tallo durante todo el ensayo, siendo su valor más alto de 1,2 cm a los 85 ddt.



**Figura 17.** Diámetro de tallo (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 17, se presenta la comparación de medias para el diámetro de tallo promedio (cm) de las tres accesiones de ají en estudio y se observan diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) para todos los muestreos (43, 50, 57, 64, 71, 78 y 85 ddt) de acuerdo a la prueba de Bonferroni. Durante la fase vegetativa, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó diferencias altamente significativas a los 43 ddt en comparación con las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988. A los 50 ddt, las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048 presentaron diferencias altamente significativas con respecto a la accesión OSP-HOR-10-988. Para los 57 ddt en los cuales todas estaban en la fase de floración, la accesión OSP-HOR-14-726 presentó diferencias altamente significativas al compararse con las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048.

Durante la fase de floración e inicio de la fase de fructificación (64 ddt), las accesiones conformaron tres grupos diferentes (a, b y c) en cuanto al diámetro de tallo (cm) indicando diferencias altamente significativas entre ellas, siendo la accesión OSP-HOR-14-726 la que presentó el valor más alto, seguida de la accesión OSP-HOR-12-1048 y finalmente OSP-HOR-10-988. Durante la fase de fructificación (71, 78 y 85 ddt), las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048 presentaron diferencias altamente significativas con respecto a la accesión OSP-HOR-10-988.

**Cuadro 17.** Comparación de medias para diámetro de tallo promedio (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Diámetro de tallo promedio (cm)						
	43 ddt	50 ddt	57 ddt	64 ddt	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	0,78 <sup>b</sup>	1,24 <sup>a</sup>	1,48 <sup>a</sup>	1,58 <sup>a</sup>	1,58 <sup>a</sup>	1,58 <sup>a</sup>	1,62 <sup>a</sup>
OSP-HOR-10-988	0,70 <sup>b</sup>	0,84 <sup>b</sup>	0,94 <sup>b</sup>	1,04 <sup>c</sup>	1,12 <sup>b</sup>	1,18 <sup>b</sup>	1,20 <sup>b</sup>
OSP-HOR-12-1048	0,90 <sup>a</sup>	1,03 <sup>ab</sup>	1,13 <sup>b</sup>	1,33 <sup>b</sup>	1,53 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>
C.V. (%)	7,97	13,93	15,16	9,96	12,99	11,51	11,22

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni. Días después del trasplante (ddt).

San Juan *et al.* (2022), reportan diferentes valores en tres genotipos de *C. annum*, siendo el chile pasilla el que presentó un valor máximo de 1,62 cm, seguido del chile huacle con un valor de 1,45 cm y finalmente, el chile de agua que presentó un valor mínimo de 1,36 cm. Estos valores son similares a los obtenidos para las tres accesiones bajo estudio, especialmente a partir de los 57 ddt.

Por su parte, Zúñiga (2021), reportó que solamente los dos genotipos de ají tipo jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*) presentaron diferencias significativas entre ambos, con valores de 3,88 cm y 2,88 cm. Sin embargo, el resto de los genotipos tales como ají tipo cayenne (*C. annuum*), ají tipo habanero (*C. chinense*) y ají tipo tabasco (*C. frutescens*) no presentaron diferencias significativas. Los resultados obtenidos por el ají tipo jalapeño son superiores de los reportados por las tres accesiones evaluadas en la presente investigación.

En su investigación, Brillhante *et al.* (2021), obtuvieron que para *C. chinense* y *C. baccatum* var. *pendulum*, hubo diferencias significativas en relación al diámetro del tallo presentando valores de 5,09 cm y 4,25 cm, respectivamente. Para *C. annuum* y *C. annuum* var. *glabriusculum* no hubo diferencias significativas. Estos resultados están muy por encima de los obtenidos para las tres accesiones bajo estudio debido a que el valor máximo reportado fue de 1,62 cm para la accesión OSP-HOR-14-726 a los 85 ddt.

Sin embargo, Alemán *et al.* (2018), reportaron valores de 1,4 cm a los 72 ddt para la variable de diámetro de tallo, y señalaron que no hubo diferencias significativas con respecto a las mismas plantas en condiciones de campo abierto. Un valor similar fue obtenido por la accesión OSP-HOR-14-726 (1,48 cm) a los 57 ddt, y a los 71 ddt los valores fueron superiores. Lo mismo para la accesión OSP-HOR-12-1048, la cual presentó valores superiores a los reportados por los autores citados anteriormente a partir de los 71 ddt. Mientras que la accesión OSP-HOR-10-988 mantuvo sus valores por debajo de las otras dos accesiones durante todo el ensayo.

Por otra parte, Elizondo y Monge (2016), evaluaron 12 genotipos de *C. annuum* y presentaron como resultados que hubo diferencias significativas entre ellos, siendo 11 genotipos iguales y uno diferente en cuanto al diámetro de tallo, siendo el valor máximo de 1,58 cm y el valor mínimo de 1,25 cm a los 182 ddt. Es importante resaltar que las tres accesiones bajo evaluación obtuvieron valores similares durante el ensayo, mismo que culminó a los 85 ddt. Esto permite inferir que, OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 tienen una gran ventaja en comparación con los 12 genotipos evaluados por los autores anteriormente citados, debido a que en menos cantidad de días después de trasplante obtuvieron valores muy similares en cuanto al diámetro de tallo.

Abello (2016), también obtuvo diferencias significativas en relación al diámetro de tallo en ocho accesiones de ají dulce (*C. chinense*) con valores comprendidos entre 0,76 y 2,76 cm, lo cual indica que sus valores fueron muy similares a los reportados en las tres accesiones de ají evaluadas en este estudio. Del mismo modo, Reggeti (2018), reportó valores entre 0,75 y 0,97 cm de diámetro de tallo en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.), los cuales son similares a los obtenidos en la presente investigación.

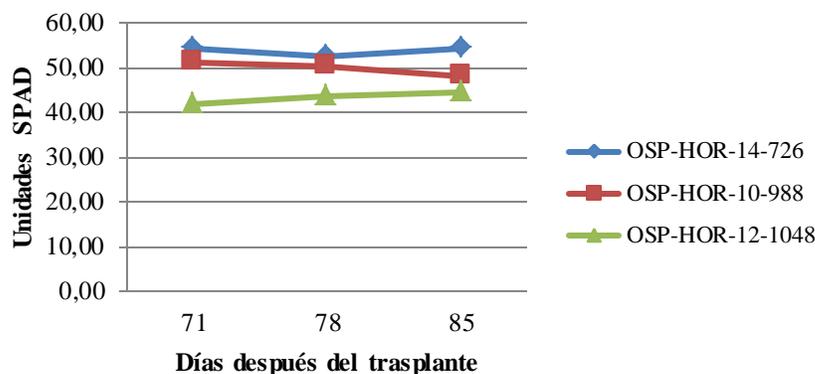
Es este sentido, la variable diámetro del tallo es un buen indicador de vigor y fortaleza de las plantas, y sugiere que entre mayor sea este valor, mayor es la capacidad del tallo para soportar el peso de órganos principales tales como: hojas, ramas, flores y frutos. Por lo tanto, disminuye el riesgo de que el tallo se quiebre por un exceso de peso de la parte aérea de la planta (Elizondo y Monge, 2016; Alemán *et al.*, 2018; San Juan *et al.*, 2022).

### **Índice de Clorofila (Unidades SPAD)**

En la Figura 18, se presenta el índice de clorofila (unidades SPAD) de las tres accesiones de ají en la cual se muestra que a los 71 ddt, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó valores más altos (54,50 unidades SPAD), seguida de OSP-HOR-10-988 (50,97 unidades SPAD) encontrándose ambas en el inicio de la fase de fructificación. Por último, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó su valor máximo a los 85 ddt (44,34 unidades SPAD), ubicándose por debajo de las accesiones anteriores, pero de igual manera en la fase de fructificación.

Para el caso particular de la accesión OSP-HOR-14-726, hubo una leve disminución del índice de clorofila a los 78 ddt, y nuevamente experimentó un aumento a los 85 ddt, aunque los valores se mantuvieron por encima de las 50 unidades SPAD. Cabe destacar que, para ambos muestreos, la accesión se encontraba en la fase de fructificación.

En cuanto a la accesión OSP-HOR-10-988, el índice de clorofila disminuyó muy levemente pasando de 50,07 unidades SPAD (78 ddt) a 47,92 unidades SPAD (85 ddt) en los cuales las todas las accesiones se encontraban en la fase de fructificación. En contraste, la accesión OSP-HOR-12-1048 mostró una tendencia de aumento durante los tres muestreos, siendo su valor máximo de 44,34 unidades SPAD aun cuando fue la accesión con los valores más bajos en comparación con las otras dos accesiones.



**Figura 18.** Índice de clorofila (unidades SPAD) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante el ensayo.

En el Cuadro 18, se presenta la comparación de medias para el índice de clorofila promedio de las tres accesiones de ají bajo estudio y se observan diferencias estadísticamente altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) a los 71 ddt y diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) a los 78 y 85 ddt, de acuerdo a la prueba de Bonferroni. Estos resultados demuestran que las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 presentaron un grado de color verde en sus hojas de manera similar y por encima de 50 unidades SPAD, a diferencia de la accesión OSP-HOR-12-1048 la cual mostró menor grado de color verde en sus hojas, siendo sus valores por debajo de 50 unidades SPAD.

**Cuadro 18.** Comparación de medias para índice de clorofila promedio (Unidades SPAD) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Accesiones	Índice de Clorofila promedio (Unidades SPAD)		
	71 ddt	78 ddt	85 ddt
OSP-HOR-14-726	54,50 <sup>a</sup>	52,67 <sup>a</sup>	54,29 <sup>a</sup>
OSP-HOR-10-988	50,97 <sup>a</sup>	50,07 <sup>ab</sup>	47,92 <sup>ab</sup>
OSP-HOR-12-1048	41,72 <sup>b</sup>	43,80 <sup>b</sup>	44,34 <sup>b</sup>
C.V. (%)	7,93	10,26	11,20

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) y diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) según la prueba de Bonferroni. Días después del trasplante (ddt).

Juárez (2018), reportó diferencias significativas entre 18 genotipos de *C. annuum*. En el caso de siete genotipos denominados chiles mulatos presentaron valores en unidades SPAD de 58,22 a los 70 ddt, 60,57 a los 77 ddt y 55,20 a los 84 ddt. Para los 11 genotipos denominados chiles habaneros las unidades SPAD fueron 55,40 los 74 ddt, 53,30 a los 80 ddt y 54,40 a los 86 ddt. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la presente investigación, se puede observar que, para días de muestreos similares, la accesión OSP-HOR-14-726 presentó valores semejantes (por encima de 50 unidades SPAD). Mientras que la accesión OSP-HOR-10-988 presentó valores similares solamente los 71 y 78 ddt, ya que el valor de unidades SPAD fue por debajo de 50 a los 85 ddt. Y por último, la accesión OSP-HOR-12-1048 difiere en los resultados, debido a que presentó valores por debajo de 45 unidades SPAD a los 71, 78 y 85 ddt. En este sentido, el autor citado sugirió que los valores de las lecturas SPAD estaban relacionadas con el rendimiento de los genotipos evaluados y concluyó con sus resultados que no hay relación entre ellos, por lo que reporta que los rendimientos son un atributo al genotipo en sí.

Sin embargo, Da silva *et al.* (2018), evaluaron tres genotipos de *C. annuum* (All Big, Yolo Wonder y Vermelho Samurai-Sais) y reportaron que no hubo diferencias significativas entre los cultivares en las etapas de floración y producción de frutos en relación al índice de clorofila (SPAD) de las hojas de pimiento. Sin embargo, se vio significativamente afectado por el contenido de nitrógeno del suelo en la etapa de floración y cosecha, ya que el índice SPAD se incrementó en respuesta al aumento de nitrógeno en ambas etapas. De tal manera que concluyeron que los pimientos deben tener un índice SPAD mínimo de 58,5 en la etapa de floración para lograr un alto rendimiento de frutos, por lo que la cuantificación del índice SPAD en las etapas reproductivas puede utilizarse en el pronóstico de la producción de pimiento. En ese sentido, se puede observar que los resultados obtenidos en el presente estudio están por debajo de 58 unidades SPAD y quizás esto pudo haber influido en la producción de las accesiones evaluadas. Por su parte, Reggeti (2018), presentó valores similares en el presente en el estudio en ají dulce tipo Llanerón (*Capsicum* sp.), aumentando hacia las fases de floración y fructificación.

Las unidades SPAD se correlacionan con los contenidos de nitrógeno y de clorofila que tienen las plantas, lo cual brindaría una idea de los contenidos nutricionales, principalmente de nitrógeno (N) que poseen las hojas en un preciso momento. Por lo tanto, es ampliamente utilizado para identificar la deficiencia de nitrógeno (Ribeiro *et al.*, 2015; Garbanzo *et al.*, 2017). En ese sentido,

Rivera *et al.* (2021), reportaron que sus resultados mostraron que, al aplicar dosis crecientes de N en *C. annuum*, aumentaron las unidades SPAD, lo que implica que la cantidad de clorofila aumenta en función de que aumenta el nivel de N en la planta. De igual manera, Padilla *et al.* (2019), demostraron que hubo relación entre las diferentes dosis de N y la cantidad de unidades SPAD en el cultivo de pimiento bajo invernadero.

Es importante destacar que, los resultados de los análisis de suelo realizados previamente al trasplante de las accesiones en el invernadero, mostraron que el suelo tenía bajo contenido de nitrógeno total, por lo que una de las recomendaciones que se siguió fue aplicar 15 cc de humus líquido en un litro de agua cada ocho días. De tal manera que, se puede inferir que la aplicación de humus líquido a las tres accesiones bajo estudio tuvo una influencia positiva en las plantas, debido a que en las fases de floración y fructificación los valores de las unidades SPAD fueron similares o dentro del rango de los valores presentados por todos los autores reseñados anteriormente. Sin embargo, se requeriría hacer un ensayo especialmente para evaluar el efecto del humus líquido en plantas de ají para corroborar dicha influencia.

Por otra parte, es de destacar que la accesión OSP-HOR-12-1048 fue la que obtuvo valores por debajo de 50 unidades SPAD, rondando entre 40 y 45 en los 71, 78 y 85 ddt. Y como se ha mencionado anteriormente, hubo fallas en el suministro de agua entre los 64 y 71 ddt, así como entre los 78 y 85 ddt. Esto provocó que las plantas experimentaran un estrés hídrico leve que posiblemente influyó en las lecturas SPAD disminuyendo sus valores con respecto a las otras dos accesiones. En ese sentido, SuadAbd Said Aljalaly *et al.* (2018), obtuvo 36,08 unidades SPAD al evaluar el déficit hídrico en *C. annuum* mientras que sin condiciones de estrés reportaron 52,87 unidades SPAD. Esto asoma la posibilidad de que la accesión OSP-HOR-12-1048 demostró un comportamiento similar bajo un breve período de déficit hídrico.

Un caso similar fue reportado por Hamon (2017), al obtener valores parecidos en el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de déficit hídrico en los que UCV-Línea 16, I-2583 y 'Tiziú' presentaron valores de lectura SPAD de 48,67, 47,59 y 47,56 respectivamente. Estos resultados se asemejan a los presentados por la accesión OSP-HOR-12-1048 y aunque son especies distintas, se observó un comportamiento similar bajo un breve período de déficit hídrico.

### **Variables de rendimiento. Muestreos no destructivos.**

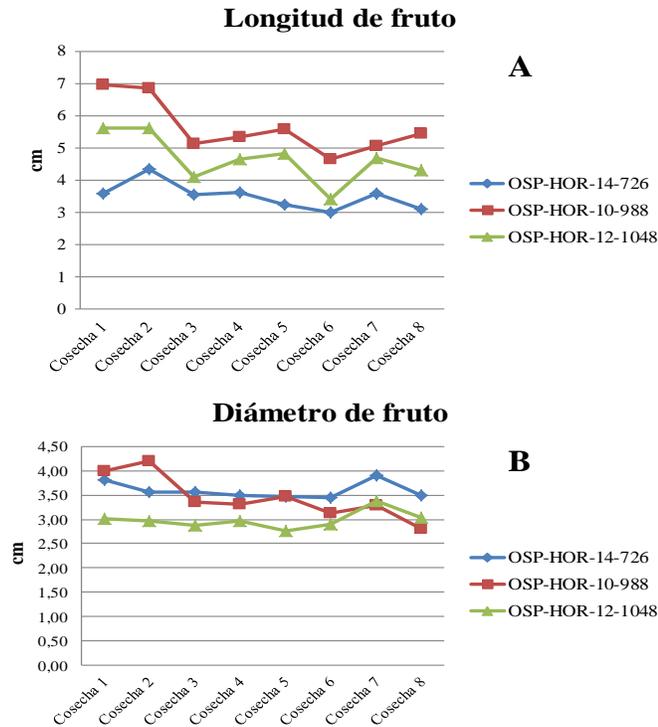
Se verificaron los supuestos del análisis de la varianza a todas las variables en estudio en cada una de las tres accesiones de ají. Las variables que cumplieron con los supuestos se analizaron por la vía paramétrica mediante el uso de la prueba de Bonferroni, y aquellas variables que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, se analizaron por la vía no paramétrica mediante el uso de la prueba de Kruskal – Wallis.

De acuerdo a la prueba de Bonferroni, las variables altamente significativas ( $p < 0,01$ ) fueron longitud de fruto, diámetro de fruto y peso de 100 semillas. De acuerdo a la prueba de Kruskal – Wallis, la variable altamente significativa ( $p < 0.01$ ) fue el peso promedio de fruto.

#### **Longitud y diámetro de fruto (cm)**

En la Figura 19, se presenta la longitud y diámetro de fruto (cm) de las tres accesiones de ají, en la cual se muestra una tendencia similar y en descenso durante las ocho cosechas realizadas para la variable de longitud. Sin embargo, se puede apreciar que la accesión OSP-HOR-10-988 es la que presenta mayor longitud de frutos, seguida por la accesión OSP-HOR-12-1048 y finalmente la accesión OSP-HOR-14-726 (Figura 19-A).

Para la variable diámetro de fruto (Figura 19-B), se observa que la accesión OSP-HOR-10-988 se mantuvo con los mayores valores durante la cosecha 1 y cosecha 2, y a partir de la cosecha 3 presentó una disminución notable. Sin embargo, la accesión OSP-HOR-14-726 mantuvo sus valores casi constantes, aunque para la cosecha 7 el diámetro de fruto aumentó notoriamente. Para el caso particular de la accesión OSP-HOR-12-1048 es evidente que sentó valores por debajo de las dos accesiones anteriores, hasta la cosecha 7 en la cual presentó un aumento en el diámetro de fruto, y tuvo un comportamiento similar a la accesión OSP-HOR-14-726



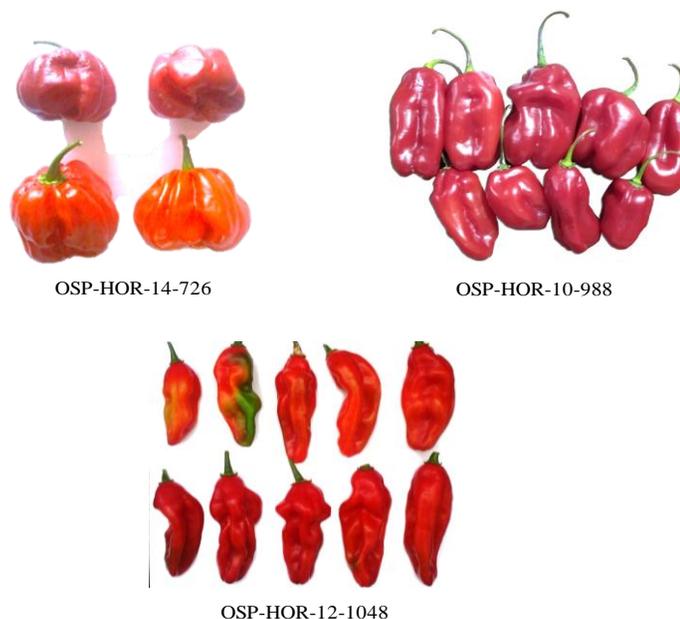
**Figura 19.** Longitud (A) y diámetro (B) de fruto (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

En el Cuadro 19, se presenta la comparación de medias para la longitud y diámetro de fruto promedio (cm) de tres accesiones de ají, y se observa la formación de tres grupos (a, b y c) en cuanto a la longitud que indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre las tres, lo que corrobora que todas presentan formas variadas en sus frutos, entre los cuales se encuentran la longitud de los mismos.

De acuerdo a estos resultados se confirma que, la accesión OSP-HOR-10-988 es la que presentó los mayores valores en cuanto a la longitud de los frutos, evidenciando que tienen una forma alargada, y de igual manera ocurrió con la accesión OSP-HOR-12-1048 por presentar frutos alargados. Por último, está la accesión OSP-HOR-14-726 con los valores más bajos en la longitud de sus frutos, debido a que son de menor longitud y asemejando una figura redondeada.

En cuanto al diámetro de fruto, se observa que las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 muestran diferencias significativas con respecto a la accesión OSP-HOR-12-1048, la cual reporta el valor más bajo. En este sentido, se puede inferir que la longitud del fruto no tiene una

relación directa con el diámetro del mismo. Es decir, que un fruto puede ser de mayor o menor longitud, y tener un diámetro igual o similar.



**Figura 20.** Frutos de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

**Cuadro 19.** Comparación de medias para longitud y diámetro de fruto promedio (cm) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

Accesiones	Longitud de fruto promedio (cm)	Diámetro de fruto promedio (cm)
OSP-HOR-14-726	3,50 <sup>c</sup>	3,58 <sup>a</sup>
OSP-HOR-10-988	5,63 <sup>a</sup>	3,45 <sup>a</sup>
OSP-HOR-12-1048	4,65 <sup>b</sup>	2,98 <sup>b</sup>
C.V. (%)	14,94	8,93

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni.

Resultados superiores fueron reportados por San Juan (2022), debido a que los tres tipos de chiles (*C. annuum*) presentaron diferencias significativas entre ellos tanto para longitud (10,5 cm, 7,3 cm y 6,3 cm) como para diámetro (4,5 cm, 3,0 m y 2,8 cm). Sin embargo, en este estudio las accesiones presentan valores muy cercanos a los reportados por los autores citados en relación al diámetro de los frutos.

Del mismo modo, Monge *et al.* (2022), obtuvo diferencias significativas entre tres tipos de pimiento (cónico, cuadrado, y rectangular) para longitud y diámetro de frutos producidos bajo ambiente protegido. Sus valores difieren en longitud ya que reportó un rango entre 12,55 y 8,46 cm; sin embargo, los valores de diámetro son mucho menores (0,84 – 0,57 cm) a los obtenidos en la presente investigación. Por su parte, Brilhante *et al.* (2021) reportó diferencias significativas para longitud y diámetro en *C. chinense*, *C. baccatum* var. *pendulum* y *C. frutescens*, pero no fueron significativas para *C. annuum* var. *glabriusculum*.

Bhattarai *et al.* (2020), reportaron diferencias significativas entre seis genotipos de (*C. annuum*) para longitud y diámetro de fruto, y señalaron que el genotipo California Wonder fue el que obtuvo mayor longitud de frutos (8,63 cm) y mayor diámetro de frutos (7,04 cm), siendo estos valores notablemente diferentes si se comparan con los resultados obtenidos en el presente estudio. En el mismo orden de ideas, Pezua (2019), reportó diferencias altamente significativas para ambas variables entre diez selecciones de ají escabeche (*C. baccatum* var. *pendulum*) con valores de longitud de frutos entre 12,21 y 11,02 cm, así como valores de diámetro entre 3,60 y 3,02 cm, siendo estos últimos cercanos a los obtenidos en esta investigación. De igual manera, Santos (2019), demostró que hubo diferencias significativas en ambas variables entre tres variedades de ají paprika (*C. annuum*), de las cuales los frutos de Papri King fueron superiores en longitud que los frutos de Papri Queen y Sonora, mientras que los frutos de Sonora fueron los que presentaron mayor diámetro.

Zúñiga (2021), determinó que hubo diferencias significativas en relación a la longitud de fruto en ají tipo cayenne (*C. annuum*) y ají tipo habanero (*C. chinense*), mientras que para el diámetro de frutos sólo hubo diferencias significativas en ají tipo jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*), ají tipo habanero (*C. chinense*) y ají tipo tabasco (*C. frutescens*).

En contraste, los resultados obtenidos en el presente estudio difieren de los presentados por Cruz *et al.* (2019), al no encontrar diferencias significativas para longitud y diámetro de fruto en la evaluación de diferentes densidades de siembra de ají paprika (*C. annuum*) var. *bella*. Del mismo modo, Trujillo (2021), reportó que no obtuvo diferencias significativas para longitud ni diámetro de frutos en plantas de ají escabeche (*C. baccatum* var. *pendulum*) bajo cinco densidades de siembra.

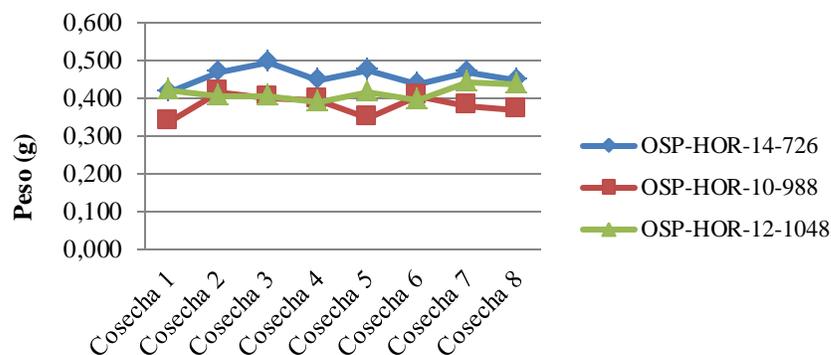
De la misma manera, Islam *et al.* (2020), al evaluar el crecimiento de tres genotipos de ají (*C. annuum*) bajo condiciones de ambiente protegido, no obtuvieron diferencias significativas en ambas variables. Por su parte, Vásquez *et al.* (2022), tampoco obtuvieron diferencias significativas en cuanto a la longitud pero sí hubo diferencias en cuanto al diámetro durante su investigación al sembrar ají (*C. annuum*) bajo el sistema biointensivo y convencional. Del mismo modo, Jiménez (2012), reportó que no hubo diferencias significativas para longitud y diámetro de fruto en los tres genotipos de *C. chinense*.

Aun cuando la variable de grosor del pericarpio del fruto no presentó diferencias significativas en la presente investigación, es importante destacar que algunos investigadores, tales como Bhattarai *et al.* (2020), Monge *et al.* (2022), San Juan (2022), Brilhante *et al.* (2021), Zúñiga (2021), y Delelegn (2011) han reportado diferencias significativas de dicha variable dentro del género *Capsicum*. Sin embargo, Cruz *et al.* (2019) no encontraron diferencias significativas para el grosor del pericarpio, al evaluar diferentes densidades de siembra de ají páprika (*C. annuum* var. bella) lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación a pesar de haberse realizado bajo condiciones de invernadero.

De acuerdo a la literatura investigada, la variable de longitud de fruto puede estar influenciada por un factor nutricional, mientras que el diámetro y grosor del pericarpio del fruto puede deberse a la variación genética de cada cultivo (Moreno *et al.*, 2011; López *et al.*, 2017). Aunado a estas sugerencias, Delelegn (2011), propone que las diferencias con relación al grosor del pericarpio del fruto, pueden deberse a que las variedades poseen la capacidad de fraccionar los asimilados que podrían resultar en un pericarpio más grueso o más delgado, y/o debido a variaciones agroecológicas.

### **Peso de 100 semillas (g)**

En la Figura 21, se presenta el peso de 100 semillas (g) de las tres accesiones de ají, en la cual se muestra una tendencia casi constante en sus valores para cada una de las accesiones durante las ocho cosechas realizadas. Sin embargo, se puede apreciar que la accesión OSP-HOR-14-726 es la que presenta valores de peso de 100 semillas (g) superiores a las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048.



**Figura 21.** Peso de 100 semillas (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

En el Cuadro 20, se presenta la comparación de medias para el peso promedio de 100 semillas (g) de tres accesiones de ají, y se observa la formación de tres grupos (a, b y c) que indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre las tres, lo que permite confirmar que todas difieren en cuanto al peso de sus semillas.

En este sentido, la accesión OSP-HOR-14-726 presenta los valores más altos de peso de 100 semillas (grupo a), luego le sigue la accesión OSP-HOR-12-1048 (grupo b), y finalmente está la accesión OSP-HOR-10-988 con los valores más bajos (grupo c). Estos resultados pudieran asociarse al hecho de que las semillas de la accesión OSP-HOR-14-726 son un poco más grandes en comparación con las semillas de las otras dos accesiones, sin embargo en este estudio no se midió el tamaño de las semillas y sólo es una observación visual.

**Cuadro 20.** Comparación de medias para peso promedio de 100 semillas (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

Accesiones	Peso promedio de 100 semillas (g)
OSP-HOR-14-726	0,46 <sup>a</sup>
OSP-HOR-10-988	0,38 <sup>c</sup>
OSP-HOR-12-1048	0,41 <sup>b</sup>
C.V (%)	5,66

Letras diferentes en la misma columna en superíndice, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Bonferroni.

Resultados similares fueron obtenidos por San Juan (2022), en cuando a que también hubo diferencias significativas; sin embargo, su evaluación fue en el peso de 1000 semillas en plantas de chiles (*C. annuum*). Además, presentó valores entre 1,27 y 0,57 g, los cuales son superiores a los reportados en el presente estudio. Del mismo modo, Pezúa (2019), encontró diferencias significativas en el peso de 100 semillas de diez selecciones de ají escabeche (*C. baccatum* var. *pendulum*) con valores entre 1,18 y 0,94 g, mismos que difieren de los valores obtenidos en esta investigación.

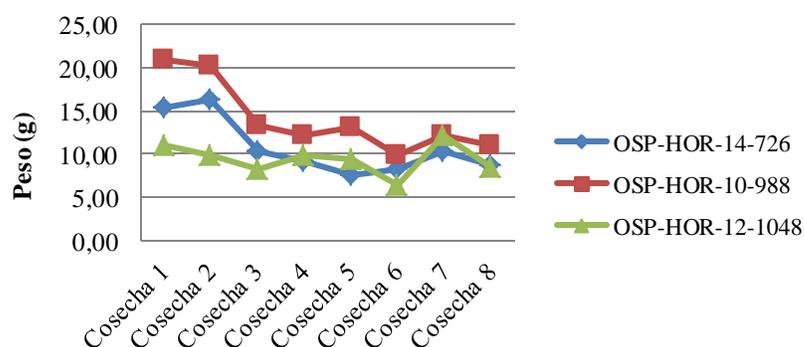
Por su parte, Abello (2016), reportó diferencias significativas en el peso de 100 semillas en ocho accesiones autóctonas de ají dulce (*C. chinense*) presentando valores entre 0,47 y 0,3 g, siendo estos valores muy similares a los obtenidos por las tres accesiones bajo estudio. Asimismo, Delelegn (2011), señaló diferencias significativas en el peso de semillas, aunque no indicó si consideró un número de 100 o 1000 semillas para evaluar dicha variable. Sin embargo, reportó valores entre 1,32 y 0,42 g, lo que permite incluir los valores obtenidos en la presente investigación dentro de dicho rango.

Cabe destacar que, la variable número de semillas no presentó diferencias significativas en este estudio, al igual que Pezúa (2019), quién tampoco las obtuvo. Sin embargo, resultados diferentes fueron obtenidos por McCaughey *et al.* (2020), quienes sí reportaron diferencias significativas en chile chiltepin (*C. annuum* var. *glabriusculum*) cultivados bajo tres condiciones agronómicas, de las cuales señalan que el peso fue superior bajo condiciones de invernadero y sugieren que el peso podría atribuirse a las condiciones de humedad y temperatura presentes en las áreas de cultivo así como a la variabilidad genética de los genotipos evaluados. De igual manera, San Juan (2022), señala que las variables de peso y número de semillas pueden estar influenciadas por factores abióticos, como por ejemplo: la disponibilidad hídrica.

### **Peso de frutos (g)**

En la Figura 22, se presenta el peso de frutos (g) de las tres accesiones de ají, en la que se muestra una tendencia en descenso de los valores para cada una de las accesiones durante las ocho cosechas realizadas, y probablemente este comportamiento pudo ser debido a que las plantas se acercaban a la fase de senescencia a medida de que pasaban los días entre cada cosecha.

La accesión OSP-HOR-10-988 la que mantuvo el peso por encima de las otras dos accesiones, presentando un valor máximo de 20,83 g en la primera cosecha a los 95 ddt. Sin embargo, desde la cosecha 1 (95 ddt) hasta la cosecha 3 (109 ddt), la accesión OSP-HOR-14-726 estuvo por encima de OSP-HOR-12-1048, mostrando su valor máximo (16,20 g) en la cosecha 2 (102 ddt). Luego de la cosecha 4 (116 ddt) y cosecha 5 (123 ddt), la accesión OSP-HOR-12-1048 superó en peso de frutos a OSP-HOR-14-726. Después de la cosecha 6 (130 ddt), ambas accesiones presentaron valores cercanos, sin embargo la accesión OSP-HOR-12-1048 mostró su máximo valor (12,15 g) a los 137 ddt.



**Figura 22.** Peso promedio de frutos (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

En el Cuadro 21, se muestra la comparación de medias del peso promedio de frutos (g) en las tres accesiones de ají según la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, en el cual se evidencia que hubo diferencias altamente significativas entre ellas. Aunque no se puede definir cuales accesiones fueron diferentes, sí se puede observar en la Figura 20 que la accesión OSP-HOR-10-988 fue la que acumuló más biomasa fresca durante las ocho cosechas, aun cuando es evidente el descenso en el peso de todas las accesiones.

**Cuadro 21.** Comparación de medias del peso promedio de frutos (g) de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. durante ocho cosechas.

Accesiones	Peso promedio de fruto (g)
OSP-HOR-14-726	**
OSP-HOR-10-988	**
OSP-HOR-12-1048	**

Los asteriscos (\*\*) indican diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ) según la prueba de Kruskal - Wallis.

Diferencias significativas fueron reportadas por Monge *et al.* (2022), Bhattarai *et al.* (2020), Zúñiga (2021), Santos (2019), Alemán *et al.* (2018), Abello (2016), Jiménez (2012) y Moreno *et al.* (2011). Sin embargo, los valores de peso promedio de frutos fueron muy superior a los presentados en este estudio, solamente fueron cercanos a los reportados por Abello (2016), quién obtuvo valores entre 22,16 y 12,85 g en las ocho accesiones evaluadas. Así como Jiménez (2012), quién reportó valores entre 20,66 y 13,54 g en tres genotipos de ají. En contraste, Cruz *et al.* (2019), Pezua (2019), Vásquez *et al.* (2020), y Trujillo (2021) no encontraron diferencias significativas para esta variable.

Por otra parte, la variable número de frutos no presentó diferencias significativas en la presente investigación, y resultados similares fueron reportados por Trujillo (2021) y Vásquez *et al.* (2020). Sin embargo, Zúñiga (2021) reportó que para algunos genotipos de ají tipo cayenne (*C. annuum*), ají tipo jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*), de ají tipo habanero (*C. chinense*) y ají tipo tabasco (*C. frutescens*), esta variable fue significativa y para otros no. Por su parte, Jiménez (2012), reportó diferencias significativas en tres genotipos de (*C. chinense*).

### **Rendimiento por planta (g/planta)**

En la presente investigación, el rendimiento fue una variable no paramétrica y no presentó diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Kruskal – Wallis. Sin embargo, se obtuvieron valores de 276,08 g/planta para la accesión OSP-HOR-14-726, 234,73 g/planta para OSP-HOR-10-988 y 127,78 g/planta para OSP-HOR-12-1048.

Resultados diferentes fueron obtenidos por Islam *et al.* (2020), quienes en tres genotipos evaluados reportaron diferencias significativas en ají (*C. annuum*) con valores entre 770 – 590 g/planta. Del mismo modo, Bhattarai *et al.* (2020), también obtuvieron diferencias significativas en seis genotipos (*C. annuum*) reportando valores entre 2.460 – 1.450 g/planta. Por su parte, Jiménez (2012), también reportó diferencias significativas en tres genotipos de *C. chinense* con valores entre 328,48 – 131,81 g/planta. De acuerdo a Castillo (2019), el rendimiento en *Capsicum* es el resultado de la interacción de varios factores, tales como: material vegetal, manejo agronómico y clima.

### **Discusión final**

De acuerdo a los resultados obtenidos para las variables morfológicas tanto de los muestreos destructivos y no destructivos, se puede comprobar que las tres accesiones bajo estudio muestran comportamientos diferentes entre sí, lo cual corrobora la variabilidad que caracteriza al cultivo de ají.

Sin embargo, se observó que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 fueron las mejores en cuanto a la acumulación de biomasa seca total y producción del número de hojas, coincidiendo con los resultados reportados por Trujillo (2021), López *et al.* (2017) y Peña y Zenner (2015) quienes describieron la distribución de la materia seca en los diferentes órganos de las plantas del género *Capsicum*. Del mismo modo, Nkansah *et al.* (2017) y Alemán *et al.* (2018) utilizaron el número de hojas como una de las variables para describir la variabilidad entre genotipos de *C. annuum*.

Para la variable de altura de planta, la mejor fue la accesión OSP-HOR-14-726, y de acuerdo con Castillo (2019), esta variable permite caracterizar la variabilidad del crecimiento entre genotipos. En relación a la variable de diámetro de tallo, las mejores fueron OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, coincidiendo con los reportados por San Juan *et al.* (2022) y Alemán *et al.* (2018). Y en cuanto a la variable del índice de clorofila, las mejores fueron OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988, resultados que coinciden con los reportados por Juárez (2018).

Para las variables de rendimiento, se observó que la accesión OSP-HOR-10-988 fue la que presentó mayor longitud de frutos y mayor acumulación de biomasa fresca en cuanto a los frutos,

coincidiendo con los resultados reportados por Pezua (2019) y Abello (2016), respectivamente. En relación a la variable de diámetro de frutos, las mejores fueron las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988, coincidiendo con los valores reportados por San Juan (2022) y Pezua (2019). Y finalmente, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó el mayor peso de 100 semillas, lo cual coincide con lo reportado por Abello (2016).

### **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE TRES ACCESIONES DE AJÍ DULCE (*Capsicum sp.*) MEDIANTE EL USO DE ÍNDICES.**

Analizar el crecimiento de las plantas permite cuantificar diferentes procesos, tales como la duración del ciclo, la definición de las etapas de desarrollo, y la distribución de los fotoasimilados por los órganos vegetales. En ese sentido, variables como el peso seco se considera el criterio más apropiado para medir el crecimiento y la magnitud del sistema de asimilación de la planta, referido, frecuentemente, al área foliar total, siendo esta última la medida usual del tejido fotosintetizador de una comunidad de plantas porque esta determina la cantidad o importe de energía solar que es absorbida y convertida a materiales orgánicos (Azofeifa y Moreira, 2004). De tal manera que, con la información aportada por las variables previamente mencionadas, se pudieron determinar los índices de crecimiento que a continuación se describen.

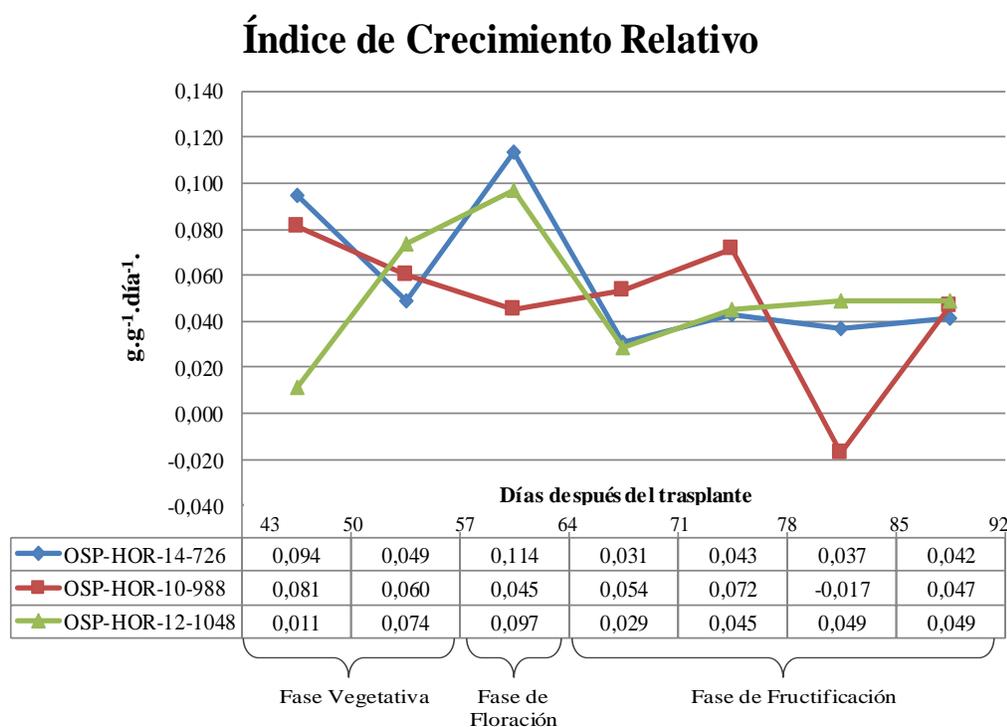
#### **Índice de Crecimiento Relativo (ICR)**

Este índice expresa el incremento en peso que experimenta una planta en función del peso alcanzado en un intervalo de tiempo dado. El ICR estima la eficiencia de una planta para producir materia seca a partir de la existente, y va decreciendo a medida que la planta crece. En la Figura 23, se presenta el índice de crecimiento relativo para las tres accesiones de ají bajo estudio durante los siete muestreos realizados y en la cual se puede apreciar que para el intervalo de 43 y 50 ddt, las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 muestran valores de 0,094 y 0,081  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ , respectivamente. Entre los 50 y 57 ddt se evidencia que se produjo una ganancia de materia seca total durante ese período de crecimiento en ambas accesiones, con valores de ICR de 0,049 y 0,060  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$  para OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988, respectivamente.

Estos resultados demuestran que el ICR disminuyó debido a que las plantas acumularon biomasa seca por encontrarse en la fase vegetativa (43 y 57 ddt), y según Azofeifa (2000), esto se asocia al crecimiento vegetativo inicial de las plantas en el cual casi todo el tejido presente puede

fotosintetizar y producir asimilados para reinvertir en nuevo crecimiento vegetativo, que a su vez produce más asimilados y los vuelve a invertir.

Sin embargo, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó el valor más bajo, siendo  $0,011 \text{ g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$  entre los 43 y 50 ddt, y seguidamente hubo un aumento del ICR ( $0,074 \text{ g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$ ) entre los 50 y 57 ddt, lo cual permite inferir que durante ese período de tiempo no hubo una importante ganancia de materia seca total, por lo que fue poco eficiente para la producción de fotoasimilados para reinvertir en nuevo crecimiento vegetativo, y esto la ubica muy por debajo de las accesiones anteriormente descritas.



**Figura 23.** Variación en el índice de crecimiento relativo de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. con la edad y la fase de desarrollo.

En el caso particular de las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, se presenta una tendencia muy similar entre ellas. Hubo un aumento en el valor del ICR entre los 57 y 64 ddt, lo cual indica que no hubo una notoria ganancia de materia seca total durante ese período de tiempo, coincidiendo con el inicio de la fase de floración y en la cual los fotoasimilados producidos son dirigidos a la formación de flores. A partir de los 64 ddt en adelante, se observa que la ganancia de materia seca total aumentó y se mantuvo constante hasta el final del ensayo

para ambas accesiones, lo cual supone una competencia de fotoasimilados tanto para los sumideros (flores, frutos y semillas) como para los demás órganos de las plantas de cada accesión (Azofeifa, 2000).

Para la accesión OSP-HOR-10-988, se observa un ligero aumento del ICR a partir de los 57 ddt hasta los 71 ddt, período en el cual las plantas estaban en la fase de floración y fructificación. De manera que se demuestra que no hubo una considerable ganancia de materia seca total debido a que los fotoasimilados se invirtieron en la formación de flores, frutos y semillas. Sin embargo, entre los 71 y 78 ddt el ICR disminuyó notoriamente ( $-0,017 \text{ g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$ ) y además, para ese período de tiempo hubo una falla en el suministro de agua, lo cual evidencia que las plantas fueron eficientes en cuanto a la ganancia de materia seca total bajo esa condición de estrés hídrico. Luego de ese evento, se observa que entre los 78 y 85 ddt el ICR disminuyó, lo cual indica que hubo ganancia de materia seca total lo que les permitió a las plantas invertir gran parte de los fotoasimilados en la formación y llenado de frutos. A partir de los 85 ddt, se nota que el ICR aumentó, lo que sugiere que las plantas no acumularon biomasa, si no que continuaron invirtiendo en el llenado de frutos.

El índice de crecimiento relativo (ICR) ha sido utilizado en el Género *Capsicum* para describir la eficiencia de las plantas para producir materia seca nueva con base a la ya existente, y así como otros índices, éste se ha implementado bajo diferentes condiciones. En este sentido, tanto Azofeifa (2000), como Azofeifa y Moreira (2004) han estudiado el crecimiento mediante la utilización de los índices de crecimiento, lo que ha hecho que sus investigaciones hayan servido de base o de referencia para los trabajos realizados en el área. De este modo, dichos autores en sus experimentos, coinciden en que aproximadamente, a los 40 dds se presentó el máximo valor de  $0,167 \text{ g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$ , y que a partir de los 54 días y hasta el final del ciclo (180 dds) en la cual ya hay frutos medianos y grandes, los valores de ICR disminuyeron e incluso pueden ser negativos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, son similares a los señalados por los autores previamente citados en cuanto al comportamiento de las tres accesiones de ají bajo estudio, aunque se presentan diferencias entre ellas y con algunas fluctuaciones en el ICR que coinciden de acuerdo a los días después del trasplante. Cabe destacar, que este ensayo se realizó hasta los 85 ddt, por lo que es evidente que las evaluaciones fueron más cortas, sin embargo se

pudo evidenciar que durante el tiempo de evaluación las tres accesiones de ají presentaron la fase vegetativa, reproductiva y de fructificación, permitiendo evaluar su crecimiento.

De acuerdo a Castellanos *et al.* (2009), quienes evaluaron el crecimiento, producción y calidad en cinco accesiones de ají (*Capsicum* spp.) cultivadas en la amazonia occidental colombiana en diferentes densidades, observaron que el comportamiento del ICR (también conocido como tasa de crecimiento relativo), siguió una tendencia acorde con lo observado para muchas especies de crecimiento determinado, y obtuvieron valores altos que disminuyeron con la edad; dicha disminución se debe al aumento gradual de tejidos no asimilatorios (flores, frutos, semillas). Aunque la presente investigación se realizó bajo condiciones de invernadero, se puede decir que las tres accesiones bajo estudio tuvieron un comportamiento similar en cuanto a la disminución de los valores de ICR en la fase reproductiva y de fructificación, especialmente en las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048.

Por su parte, San Juan *et al.* (2022), reportó que el ICR en plantas de chile Huacle (*C. annuum*) bajo condiciones de estrés hídrico en invernadero, tuvo una comportamiento tendencia decreciente a partir de los 60 ddt y que los valores más altos se obtuvieron entre los 30 y 60 ddt. Además, señalan que la disminución de ICR fue debido a que las plantas no acumularon materia seca, lo cual se le atribuyó a la maduración de los frutos. Estos resultados, pueden ser comparables con los obtenidos en el presente estudio, aunque las evaluaciones comenzaron a los 43 ddt también se demuestra que los valores fueron altos, específicamente para OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988.

Recientemente, Martínez *et al.* (2023) reportaron que las plantas chile poblano (*C. annuum* L. var. *grossum* sendt) bajo invernadero alcanzaron sus valores máximos de ICR en el intervalo de 0 a 45 ddt. Posteriormente, la tendencia fue disminuir rápidamente, además señalan que el comportamiento de este índice es típico ya que presenta valores altos al principio del ciclo del cultivo y bajos a medida que transcurre el tiempo, debido a que la mayor parte de los fotoasimilados son translocados al fruto, alcanzando incluso valores de cero al final del ciclo. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación, concuerdan con los valores altos a los 43 ddt para las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988, así como con la tendencia decreciente hacia la fase de fructificación.

En otros cultivos tales como tomate (*Solanum lycopersicum* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), y cacao (*Theobroma grandiflorum*) también se ha evaluado el índice de crecimiento relativo con la finalidad de caracterizar su crecimiento, medir su eficiencia para producir nueva materia seca y comparar el comportamiento entre especies. Y todos los resultados reportados son similares, en los cuales el ICR inicialmente presentó valores altos que fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo de vida del cultivo, específicamente en la fase de floración y fructificación. Este comportamiento supone una correlación entre el proceso de crecimiento y el desarrollo de diversas partes de la planta como flores y frutos, el cual puede explicarse en términos del suministro y demanda, por la forma en que los asimilados son translocados para el crecimiento (Barraza *et al.*, 2004; Guerrero *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2010).

### **Índice de Asimilación Neta (IAN)**

Éste índice representa la acumulación de materia seca por unidad de área foliar y tiempo, por lo que es una medida de la eficiencia fotosintética de las hojas. En la Figura 24, se presenta el índice de asimilación neta ( $\text{g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ) para las tres acciones de ají bajo estudio durante los siete muestreos realizados y en la cual se puede apreciar que entre los 43 y 50 ddt en los cuales las plantas se encontraban en la fase vegetativa, la accesión OSP-HOR-10-988 presentó el valor más alto, seguida por OSP-HOR-14-726 y luego por OSP-HOR-12-1048. Esto indica que la accesión OSP-HOR-10-988 demostró ser más eficiente en la acumulación de materia seca que las otras dos accesiones para ese período de tiempo. Sin embargo, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó valores superiores que las otras dos accesiones durante los 50 y 64 ddt, en los cuales las plantas experimentaban la fase vegetativa, la fase de floración e inicio de la fase de fructificación del ciclo.

Entre los 57 y 64 ddt, en los cuales las plantas se encontraban en la fase de floración e inicio de la fase de fructificación, las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 presentaron los mismos valores ( $0,00078 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ), mientras que la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó un valor mucho mayor ( $0,00165 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ) que la resalta como la accesión más eficiente en acumular materia seca en ese período de tiempo. Entre los 64 y 78 ddt, en los que las plantas se encontraban en la fase de fructificación, los resultados demuestran que la accesión OSP-HOR-10-988 presentó los valores más altos siendo la más eficiente, seguida por OSP-HOR-12-1048 y luego por OSP-HOR-14-726.

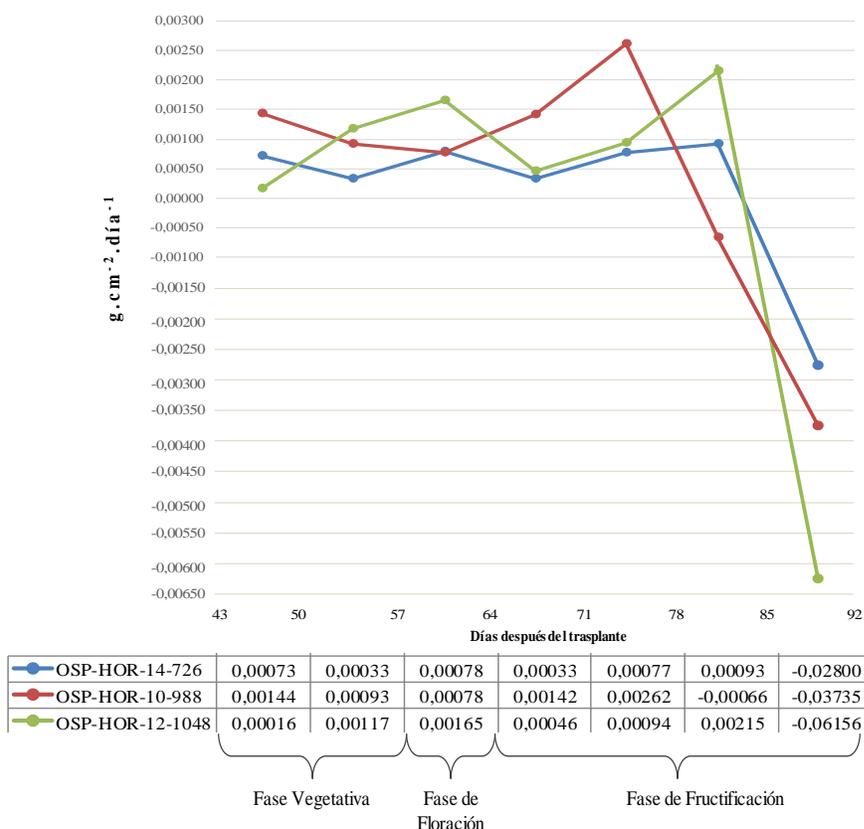
Durante la fase de fructificación, entre los 78 y 85 ddt, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó un valor mucho mayor que la accesión OSP-HOR-14-726, destacándola como la más eficiente en acumular materia seca. Sin embargo, la accesión OSP-HOR-10-988 fue la primera que presentó valores negativos, lo que indica que posiblemente las hojas de las plantas estaban senescentes o no se encontraban fotosintetizando pero sí estaban respirando activamente. Cabe destacar, que para ese mismo período de tiempo se presentó una falla en el suministro de agua por lo que eso haya influido negativamente. Y finalmente, a partir de los 85 ddt, todas las accesiones presentaron valores negativos debido a que ya las plantas se encontraban en su fase de senescencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede señalar que el comportamiento de las accesiones bajo estudio fue fluctuante entre ellas, lo que denota que cada una mostró diferencias en cuanto a la acumulación de materia seca por unidad de área foliar. Sin embargo, todas las accesiones coincidieron en que sus valores más altos de IAN durante el ciclo se presentaron en la fase de floración y fructificación, siendo ésta última la fase más demandante en cuanto a fotoasimilados.

Azofeifa *et al.* (2004) en su investigación cita a Shibles (1987) quién señaló que la radiación solar es uno de los factores determinantes en la fotosíntesis y por ende, influye en la producción de materia seca de la planta, además menciona que el IAN disminuye al avanzar la ontogenia del cultivo y que la planta responde con una actividad fotosintética mayor cuando presenta sumideros importantes; a la vez indica, que el efecto se mantiene en el tiempo conforme a la duración del sumidero (frutos).

De acuerdo a esta premisa, se puede sugerir que hubo una influencia positiva de la radiación sobre las accesiones bajo estudio durante la fase de floración y fructificación (mes de junio), debido a que presentó un valor más alto en comparación con la radiación recibida durante la fase vegetativa (mes de mayo) (Figura 5). Por tal motivo, las plantas hicieron un uso eficiente de la radiación para utilizarla en el proceso de fotosíntesis y de este modo, acumular biomasa seca.

## Índice de Asimilación Neta



**Figura 24.** Variación en el índice de asimilación neta de tres accesiones de ají *Capsicum* sp. con la edad y la fase de desarrollo.

En ese sentido, siendo el IAN un indicador de la eficiencia fotosintética de las hojas, cabe destacar que la accesión OSP-HOR-10-988 fue la más eficiente en acumular biomasa seca durante la formación de frutos, respuesta que además se puede corroborar al observar en la Figura 13-A que fue la que presentó la mayor acumulación de biomasa seca de frutos a los 71 ddt, aun cuando los resultados de área foliar demostraron que se mantuvo casi constante durante ese mismo período de tiempo (Figura 9).

Sin embargo, la accesión OSP-HOR-12-1048 fue la más eficiente durante el llenado y maduración de los frutos, lo cual concuerda con el incremento en el área foliar para ese mismo intervalo de tiempo (Figura 9), además fue la accesión que presentó diferencias estadísticamente significativas en comparación con las otras dos accesiones a los 71 ddt en los cuales todas se encontraban en la fase de fructificación (específicamente durante el llenado y maduración de los

frutos). Aunado a esto, fue la accesión con diferencias estadísticamente significativas a los 78 ddt en relación a la acumulación de biomasa seca de frutos, lo que coincide con el máximo valor de IAN para ese mismo período de tiempo (Figura 13-A).

Por último, se encuentra la accesión OSP-HOR-14-726, la cual demuestra una baja eficiencia en acumular biomasa seca, lo cual coincide con una consecuente disminución de su área foliar durante el llenado y maduración de los frutos (Figura 9) y valores de acumulación de biomasa seca de frutos muy por debajo de las accesiones anteriormente descritas (Figura 13-A).

Resultados similares fueron obtenidos por Azofeifa (2000), y Azofeifa y Moreira (2004), quienes señalan que en Chile (*C. annuum*) y Chile Jalapeño (*C. annuum* cv. hot), el IAN incrementa paulatinamente a partir de los 68 hasta los 96 días después de la siembra (dds) justo cuando las plantas se encuentran entre la fase vegetativa y reproductiva (con mayor crecimiento de frutos). Además, señalan que el IAN disminuyó entre los 54 y 68 dds, y se lo atribuyeron a que pudo deberse al estrés sufrido por las plantas, a consecuencia del trasplante, el cual provocó una reducción de la eficiencia fotosintética del tejido foliar.

Por otra parte, Cruz-Huerta *et al.* (2005), demostraron que el IAN incrementó durante fase de fructificación entre los 70 y 158 ddt en Chile Morrón (*C. annuum* cv. 'Ariane') bajo condiciones de invernadero. En contraste, Castellanos *et al.* (2009), señalaron que el IAN aumentó durante la fase vegetativa entre los 27 y 41 ddt y disminuyó a los 55 ddt, momento en el que inició la fructificación en cinco accesiones de ají (*Capsicum* spp.)

Recientemente, Alemán *et al.* (2018), obtuvieron que el IAN fue mayor entre los 25 y 72 ddt bajo condiciones de invernadero en comparación con las condiciones a campo abierto en pimiento (*Capsicum annuum* L.). San Juan *et al.* (2022), señalaron que en Chile Huacle (*C. annuum*) los mayores valores de IAN se presentaron entre los 30 y 60 ddt, los cuales comprenden la fase vegetativa y la fase reproductiva en la que los fotoasimilados son dirigidos a la formación de frutos. Por su parte, Martínez *et al.* (2023), observaron que en Chile Poblano (*C. annuum* var. grossum sendt) bajo condiciones de invernadero, se presentaron fluctuaciones en el IAN entre los 45 y 90 ddt en los cuales las plantas se encontraban en su fase vegetativa y reproductiva, y a partir de los 90 ddt hubo un incremento del IAN.

En cultivos como tomate y papa, también se ha evaluado el índice de asimilación neta para estimar la ganancia de materia seca por unidad de tejido asimilatorio y por unidad de tiempo. Para el caso de tomate, se han reportado valores altos de IAN a los 75 ddt con una densidad de población de 50.000 plantas/ha<sup>-1</sup> y comenzó a disminuir a partir de los 90 ddt. En cuanto al cultivo de papa, los valores del IAN aumentan durante la fase vegetativa pero disminuyen notoriamente cuando comienza el proceso de tuberización debido a la senescencia de las hojas, sin embargo el comportamiento del IAN en la papa, resulta diferente al observado en otras especies vegetales, debido a que la acumulación de reservas ocurre en los tubérculos y no en la parte aérea de la planta, razón por la cual el IAN en plantas de papa, puede incrementar al final del ciclo de cultivo, debido a una alta actividad de la demanda (tubérculos) (Barraza *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2010). En el cultivo de caraota, Martínez *et al.* (2021), también señaló que el IAN de todos los cultivares evaluados en su investigación, presentó una tendencia a disminuir al pasar de la etapa vegetativa a la reproductiva.

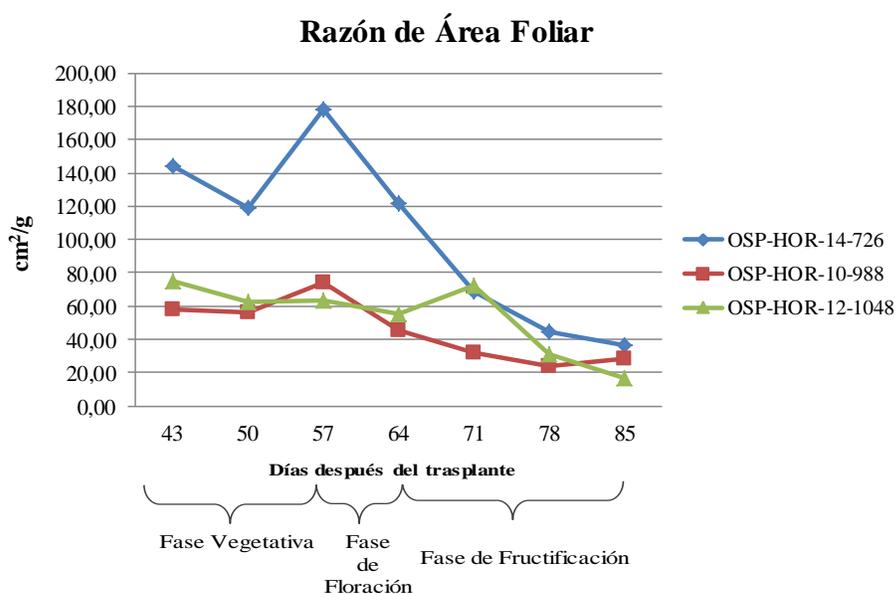
### **Razón de Área Foliar (RAF)**

Este índice permite evaluar la proporción de la cantidad de área foliar formada en relación al peso seco total de la planta, además es un cociente de distribución de recursos y no un índice dinámico como el ICR y el IAN. En la Figura 25, se presenta la razón de área foliar (cm<sup>2</sup>/g) para las tres accesiones bajo estudio y se puede apreciar claramente que la accesión OSP-HOR-14-726 tuvo la mayor RAF durante todo el ensayo, presentando su máximo valor (178,18 cm<sup>2</sup>/g) a los 57 ddt en los que las plantas se encontraban en la fase de floración. A partir de ese período de tiempo, se nota una disminución constante de la RAF, lo cual puede indicar que hubo un incremento en la biomasa seca de otros órganos de la planta como tallos, raíces, flores y frutos. Además, se debe considerar que al final de los muestreos comenzó la fase senescencia, aunado a la caída de hojas propias de dicha fase e incluso por la falla en el suministro de agua a los 78 ddt.

En cuanto a la accesión OSP-HOR-10-988, se observa que inició con los valores más bajos durante la fase vegetativa (43 y 50 ddt), sin embargo experimentó un aumento de RAF de 73,73 cm<sup>2</sup>/g a los 57 ddt durante la fase de floración, siendo su valor máximo durante todo el ensayo. Después de ese período de tiempo, presentó un descenso paulatino entre los 64 y 78 ddt en los cuales las plantas se encontraban en la fase de fructificación. Sin embargo, a los 85 ddt se denota un leve aumento en la RAF, probablemente a consecuencia de la formación de nuevas hojas o

posiblemente como respuesta a la restitución del suministro de agua después de la falla en el riego, para luego mantener o favorecer la acumulación de biomasa seca en los frutos que ya se encontraban en pleno crecimiento y maduración.

En el caso de la accesión OSP-HOR-12-1048, inició con valores más altos que los reportados para la accesión OSP-HOR-10-988 durante la fase vegetativa (43 y 50 ddt), y continuó con ligeras fluctuaciones durante los 50 y 64 ddt, en los cuales las plantas se encontraban entre la fase vegetativa, la fase de floración e inicio de la fase de fructificación. Sin embargo, a los 71 ddt, presentó su máximo valor de RAF (72,21 cm<sup>2</sup>/g) en los cuales las plantas estaban en la fase de fructificación. Además, estos resultados coinciden con el máximo valor de área foliar, lo cual es un indicativo de que las plantas produjeron fotoasimilados probablemente para el crecimiento de los frutos, y dar paso a la acumulación de biomasa seca en los mismos. A partir de ese intervalo de tiempo, la RAF comenzó a decrecer paulatinamente posiblemente por el inicio de la fase de senescencia acompañada de la caída de hojas, o debido a la falla en el suministro de agua que hubo a los 78 ddt.



**Figura 25.** Razón de área foliar de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Resultados similares en cuanto a la tendencia decreciente de la RAF fueron encontrados por Azofeifa y Moreira (2004), quienes evaluaron el crecimiento del chile jalapeño (*C. annuum* cv. hot) y reportaron que el máximo valor (281 cm<sup>2</sup>/g) se presentó al inicio del desarrollo de la planta

a los 26 dds, y luego tendió a decrecer en forma paulatina hasta el final del ciclo (194 dds). Durante los 40 y 82 dds, obtuvieron valores de RAF mayores a los reportados en la presente investigación, sin embargo hubo coincidencia en la tendencia de la RAF durante el ensayo. Los autores citados sugieren que los altos valores observados al inicio del ciclo, se pueden asociar con una estrategia de sobrevivencia de las plantas para captar y procesar mejor la energía solar, lo cual es necesario para establecerse rápidamente en el campo después del trasplante. La tendencia decreciente de la RAF se puede explicar, considerando el incremento en biomasa de la planta durante el ciclo de crecimiento, el cual proviene principalmente del incremento en peso de órganos como los frutos.

Del mismo modo, Azofeifa (2000), al evaluar la RAF en dos tipos de chile (*C. annuum*) determinó que para ambos la tendencia también fue decreciente. Sin embargo, el chile dulce UCR 589 fue más eficiente que el chile Jalapeño Hot debido a que presentó valores de RAF menores, es decir, que en un área foliar dada produjo más biomasa. Bajo esta premisa, se puede considerar que de las tres accesiones evaluadas en el presente estudio la más eficiente fue la accesión OSP-HOR-10-988 por presentar los valores más bajos de RAF, especialmente en las fase de fructificación, lo cual deja claro que en dicha fase, la acumulación de biomasa seca total fue mayor.

Le sigue la accesión OSP-HOR-12-1048 en cuanto a eficiencia ya que presenta valores bajos de RAF pero por encima de la accesión anterior y finalmente, la accesión OSP-HOR-14-726 es la menos eficiente debido a que presenta los valores más altos de RAF, lo que indica que durante el ensayo fue la que menos acumuló biomasa seca total. Estos resultados, pueden corroborarse al observar la Figura 12-A, en la que se muestra la biomasa seca total de las tres accesiones y también concuerdan con los resultados obtenidos en el IAN para las tres accesiones de ají.

Diversos investigadores han descrito la misma tendencia de la RAF en diferentes cultivos (pimentón, tomate, papa, cacao, algodón, caraota), en la cual sus valores son altos debido a la una máxima capacidad fotosintética y un bajo costo respiratorio, ya que al comienzo del ciclo de cultivo casi todas las hojas están en pleno desarrollo y crecimiento. Seguidamente, la RAF presenta en general un decrecimiento moderado pero progresivo debido al incremento de la biomasa total, a medida de que el cultivo dirige sus fotoasimilados hacia el fruto y gasta energía en la floración (Vásquez, 2005; Guerrero *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2010; Orozco *et al.*, 2011; Niño, 2018; Martínez *et al.* 2021).

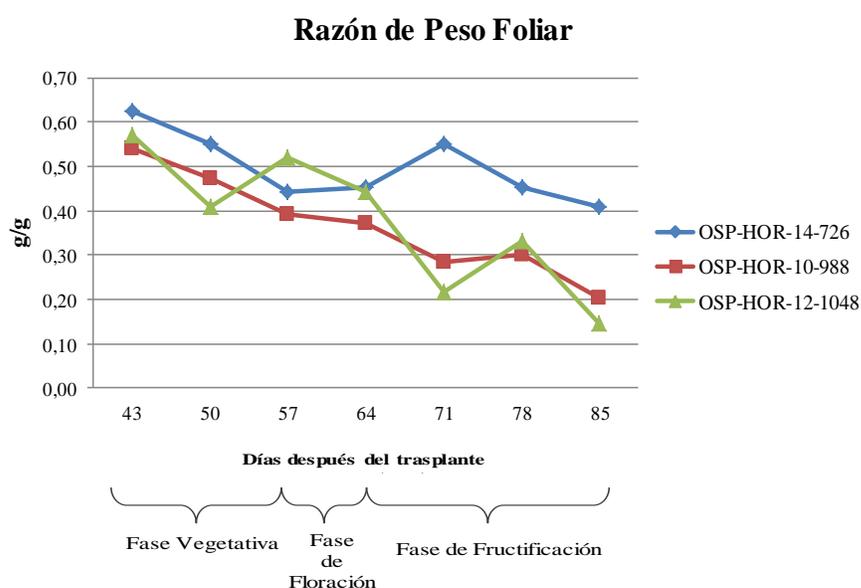
### **Razón de Peso Foliar (RPF)**

Este índice permite evaluar la proporción entre la biomasa foliar con respecto a la biomasa seca total de la planta. En la Figura 26, se presenta la razón de peso foliar (g/g) para las tres accesiones evaluadas y se puede observar que la accesión OSP-HOR-14-726 tuvo la mayor RPF durante todo el ensayo, presentando su máximo valor (0,63 g/g) a los 43 ddt en los que las plantas se encontraban en la fase vegetativa, y por lo tanto, requerían producir fotoasimilados para la formación y desarrollo de las hojas. Luego se observa que la RPF disminuyó gradualmente, probablemente debido a la acumulación de biomasa en otros órganos como los tallos, raíces y flores, sin embargo aumentó entre los 71 ddt, alcanzando un valor de 0,55 g/g en los cuales los frutos estaban desarrollándose. Este incremento podría ser considerado como una respuesta al breve período de estrés hídrico que se presentó entre los 64 y 71 ddt, lo cual sirvió de estímulo para acumular biomasa en las hojas y de esta manera garantizar la producción de fotoasimilados que serían destinados a los frutos en formación. Seguidamente se produjo una disminución constante durante la fase de fructificación, lo cual denota que la proporción de materia seca foliar decrece a medida de que la acumulación de biomasa seca aumenta en los frutos.

La accesión OSP-HOR-10-988 mantuvo valores de la RPF por debajo de la accesión OSP-HOR-14-726, sin embargo ambas tuvieron tendencias similares hasta los 64 ddt (inicio de la fase de fructificación), en el cual se observa una disminución considerable de la RPF que abarca hasta los 71 ddt (fase de fructificación). Por lo tanto, la acumulación de biomasa seca hacia la formación de frutos pudo haber influido en dicha disminución, aunque cabe destacar que al observar la Figura 13 en la que se compara la biomasa seca foliar, tallo, radical, frutos y total, se aprecia que durante la fase de fructificación las plantas destinaron parte de sus fotoasimilados principalmente a los tallos y luego a las hojas. Esto probablemente pudo haber ocurrido ante el estrés hídrico que experimentaron las plantas durante ese período de tiempo.

En el caso de la accesión OSP-HOR-12-1048, se observa que su valor máximo de RPF fue 0,57 g/g a los 43 ddt durante la fase vegetativa, posicionándose entre las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988. Luego presentó una disminución a los 50 ddt, probablemente porque las plantas acumularon biomasa seca en otros órganos en crecimiento como el tallo y las raíces. Seguidamente, se observa un aumento de RPF a los 57 ddt, probablemente porque las plantas necesitaban producir más hojas y por ende más fotoasimilados debido que iniciaba la fase de

floración. A partir de ese período de tiempo, la RPF comenzó a disminuir paulatinamente a medida de que transcurría la fase de fructificación. Sin embargo, a los 78 ddt, en los cuales se presentó una falla en el suministro de agua se nota un incremento en la RPF, incluso también se observó un incremento en otros órganos de la planta como tallos y raíces, sacrificando un poco la acumulación de biomasa seca en frutos (Figura 13), lo que probablemente haya sido una respuesta ante el estrés causado. A los 85 ddt, se observa que hubo una disminución de la RPF aunado a la reducción del número de hojas tras el estrés hídrico experimentado, lo cual sugiere que hubo una distribución de fotoasimilados hacia los tallos, los frutos y raíces.



**Figura 26.** Razón de peso foliar de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

En general, se observa claramente que el comportamiento de la razón de peso foliar (RPF) muestra una tendencia decreciente a medida que las accesiones alcanzan las diferentes etapas fenológicas propias del cultivo de ají. Y esta tendencia se debe a que la proporción de materia seca de las hojas va disminuyendo a consecuencia del incremento en materia seca en los demás órganos de la planta tales como flores, tallos, raíces y frutos.

En este sentido, al comparar las tres accesiones en estudio se puede sugerir que la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que mejor distribuyó los fotoasimilados hacia la acumulación de biomasa seca foliar, aun cuando su biomasa seca total fue el más bajo de las tres accesiones. La accesión OSP-HOR-10-988, fue la que presentó la mayor biomasa seca total y sin embargo, tuvo una menor

distribución de fotoasimilados hacia la acumulación de biomasa seca foliar. Y finalmente, la accesión OSP-HOR-12-1048 presentó valores de biomasa seca total muy cercanos a la accesión OSP-HOR-10-988, pero tuvo un comportamiento fluctuante de la RPF y la distribución de fotoasimilados para acumular biomasa seca foliar fue diferente en las etapas fenológicas, presentando los valores más altos en la fase de floración e inicio de la fase de fructificación, pero con los valores más bajos en el resto de las etapas.

Es importante señalar que durante la revisión de la literatura, el uso de la razón de peso foliar (RPF) relacionado al género *Capsicum* es escaso. Sin embargo, para resaltar la importancia de este índice, cabe mencionar que algunos autores lo han utilizado bajo diferentes tipos de evaluaciones con la finalidad de aportar mayor descripción en cuanto al análisis de crecimiento en otros cultivos.

En este sentido, Aldana (2004), en su investigación sobre acolchado con diferentes películas fotoselectivas en pimiento morrón (*C. annuum*) señala que el máximo desarrollo de la planta lo presenta en la parte intermedia, antes de la formación y llenado de los frutos, por lo que la razón de peso foliar decae debido a que probablemente los requerimientos de fotosintatos los concentra en el fruto para su madurez. Por su parte, Vásquez (2005) en su investigación sobre efectos térmicos y fotométricos de 7 películas fotoselectivas sobre el crecimiento y rendimiento del tomate (*L. esculentum*), demostró que la tendencia de la razón de peso foliar es de ir disminuyendo a través del tiempo, ya que la proporción de materia seca de hoja respecto al vástago es menor; además, se incrementa la acumulación de materia seca en otras partes de la planta como la flor y el fruto. De igual manera, Niño (2018), obtuvo una tendencia decreciente de la RPF al evaluar biofertilizantes en chile jalapeño (*C. annuum* var. mitla). Estas tendencias obtenidas por los autores previamente citados, son similares a las obtenidas en presente estudio.

En contraste a los resultados reportados anteriormente, Orozco *et al.* (2011), en su análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), señalaron que los valores similares de la RPF entre las variedades demostraron que la planta, independientemente de la variedad, regula y distribuye equitativamente los fotoasimilados que produce entre sus órganos.

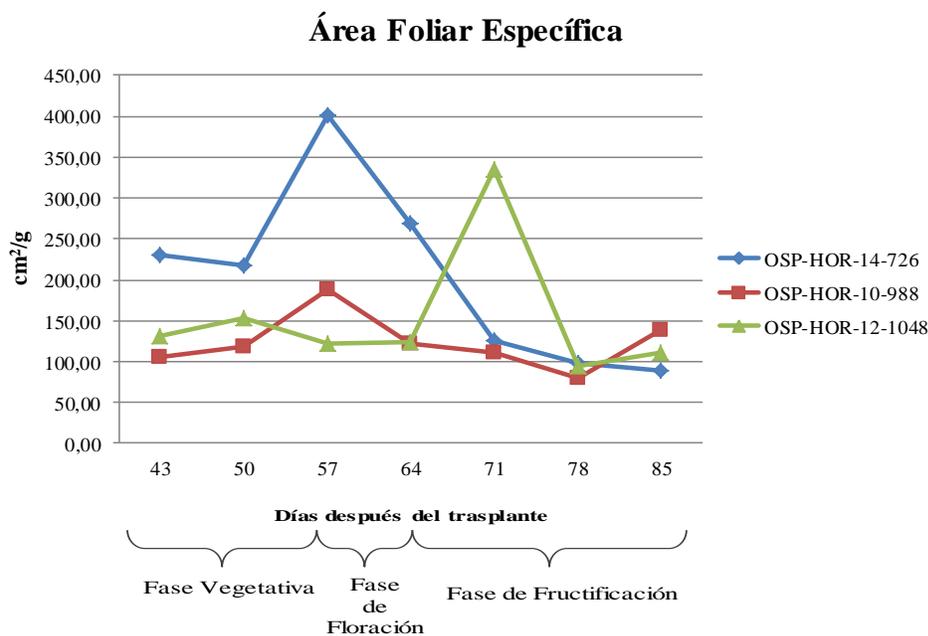
### Área Foliar Específica (AFE)

Éste índice es un indicador de espesor o grosor foliar, y permite estimar el área foliar total ( $\text{cm}^2$ ) en función de la biomasa foliar (g). En la Figura 27, se presenta el área foliar específica ( $\text{cm}^2/\text{g}^{-1}$ ) para las tres accesiones bajo estudio, y se puede observar que la accesión OSP-HOR-14-726 presentó los valores más altos de AFE entre los 43 y 64 ddt durante los cuales las plantas se encontraban en la fase vegetativa, de floración e inicio de la fructificación. Su valor máximo fue de  $401,58 \text{ cm}^2/\text{g}^{-1}$  a los 57 ddt, específicamente cuando las plantas estaban en la fase de floración. Esto indica que las hojas durante ese período de tiempo eran delgadas y con una biomasa baja, además se encontraban en expansión. A partir de los 57 ddt, se observa un descenso marcado del AFE durante la fase de fructificación, lo cual puede indicar que las hojas comenzaron a engrosarse y aumentaron su peso, aunado a una disminución de su área foliar. Estos resultados pueden corroborarse al observar la Figura 9 y 10-A.

En cuanto a la accesión OSP-HOR-10-988, se observa que su AFE se mantuvo muy por debajo del AFE de la accesión OSP-HOR-14-726 durante los 43 y 78 ddt. El AFE incrementó a los 57 ddt, siendo el valor máximo de  $188,56 \text{ cm}^2/\text{g}$ , lo que sugiere que las hojas fueron expandiéndose y aumentando su área pero a su vez disminuyendo su biomasa, lo que conllevó a que fuesen más delgadas durante la fase vegetativa. A partir de los 57 ddt, el AFE comenzó a disminuir paulatinamente durante la fase de fructificación, lo que indica que las hojas comenzaron a engrosarse y aumentar su biomasa, a medida de que su área foliar disminuía. Sin embargo, a los 85 ddt, se nota un ligero aumento del AFE que pudiera ser consecuencia de la falla en el suministro de agua debido a que las plantas requerían aumentar el área foliar y dirigir sus fotoasimilados a los frutos en pleno desarrollo y maduración, lo cual conllevó a que las hojas disminuyeran su biomasa, y por ende fuesen más delgadas. Estos resultados coinciden con los reportados en las Figuras 9 y 10-A. En general, la accesión OSP-HOR-10-988 no presentó fluctuaciones marcadas, en comparación con las otras dos accesiones.

En el caso de la accesión OSP-HOR-12-1048, se observa que hubo fluctuaciones durante las evaluaciones. Durante la fase vegetativa, entre los 43 y 50 ddt, presentó un aumento de su AFE, lo cual indica una expansión de las hojas y por ende, un aumento del área foliar aunque la biomasa tendió a disminuir y las hojas eran delgadas. Entre los 50 y 64 ddt, en los cuales las plantas se encontraban en la transición de la fase vegetativa hacia la fase de floración e inicio de la

fructificación, las plantas presentaron una ligera disminución del AFE, en la cual las hojas aumentaron su biomasa pero cabe destacar que no disminuyeron su área foliar, si no por el contrario, siguió aumentando. Dicho incremento pudo deberse posiblemente a que hubo un continuo aumento en el número de hojas para ese período de tiempo, incluso mucho más que las otras dos accesiones (Figura 8). A los 71 ddt, ya las plantas estaban en su fase de fructificación y se aprecia claramente que el AFE aumentó considerablemente en comparación con las otras dos accesiones, lo cual indica que hubo un aumento en el área foliar y una disminución en la biomasa de las hojas que conllevó a una disminución del grosor de las hojas haciéndolas más delgadas. A los 78 ddt, hubo una drástica disminución del AFE posiblemente a consecuencia de una falla en el suministro de agua, lo que resultó en una disminución del área foliar pero las plantas aumentaron la biomasa de las hojas permitiendo que aumentara su grosor y a su vez, dirigir y asegurar los fotoasimilados a los frutos en proceso de maduración.



**Figura 27.** Área foliar específica de tres accesiones de ají *Capsicum* sp.

Al igual que el índice anterior, la literatura con respecto al uso del área foliar específica (AFE) relacionado al género *Capsicum* es escaso. Sin embargo, algunos autores lo han utilizado en diferentes investigaciones con la finalidad de describir y analizar su crecimiento, así como en otros cultivos.

En ese sentido, Pérez (2002), evaluó el efecto de la poda en ají dulce (*C. chinense*) en el Sur del Lago de Maracaibo, y reportó que el área foliar específica no fue afectada por la poda, demostrando que la planta mantiene su patrón ya predeterminado de asignación de asimilados hacia las hojas. Y concluyó que dicha respuesta significa que el costo energético de formación de hojas se mantiene constante antes y después de la poda.

Por su parte, Aldana (2004), en su investigación sobre acolchado con diferentes películas fotoselectivas en pimiento morrón (*C. annuum*) reportó que el AFE fue disminuyendo en los diferentes muestreos y además hizo la comparación del comportamiento de este índice en condiciones de invernadero y campo, y concluyó que es lógico que al inicio el área foliar específica sea mayor en plantas que vienen del invernadero donde las condiciones ambientales influyen en que las hojas sean más delgadas pero, el área foliar es mayor que en intemperie. Posteriormente, cuando las plantas tienen ya más tiempo en el campo, las condiciones ambientales son diferentes y menos óptimas que en invernadero, lo que influye para que las plantas se adapten a condiciones más adversas y esto se refleja principalmente en las hojas, las cuales se hacen más gruesas pero con menor área lo que le permite mayor resistencia sobre todo a la temperatura y la pérdida de agua.

Vásquez (2005), en su investigación en el cultivo de tomate (*L. esculentum*) demostró que conforme pasó el tiempo el AFE tendió a disminuir, es decir, la hoja se fue haciendo más gruesa. De igual manera, Defilipis *et al.* (2007), caracterizaron el crecimiento de plantines de *Brassica rapa* var. *pekinensis* en contenedores y reportaron una tendencia de disminución del AFE a medida de que pasó el tiempo del ensayo. En contraste a los autores anteriormente señalados, Garruña *et al.* (2014), al evaluar diferentes condiciones de temperatura en las respuestas fisiológicas de ají dulce (*C. chinense*), demostraron que el AFE fue incrementando durante la fase vegetativa, fase de floración y fructificación.

Se consideró importante señalar la investigación de Ligarreto (2013), en 29 accesiones de frijol (*P. vulgaris*), en la cual pudo corroborar que el AFE se comportó diferente en plantas con hábito de crecimiento determinado e indeterminado. En consecuencia, la mayor AFE en las accesiones de hábito de crecimiento determinado fue ocasionada por la reducción en el peso de las hojas, como también a la translocación de asimilados hacia las estructuras reproductivas, mientras que en las otras accesiones por su condición de hábito indeterminado presentaron un menor AFE,

posiblemente debido al incremento del peso de las hojas al continuar la producción de las mismas, ocurriendo la fase vegetativa al mismo tiempo que la reproductiva y la translocación de asimilados hacia las vainas y nuevas hojas también ocurrió de manera simultánea.

Recientemente, Fernández *et al.* (2022), evaluaron las respuestas morfológicas y fisiológicas de dos especies de *Capsicum* bajo condiciones de déficit de agua, y reportaron que ambas especies mostraron una tendencia de disminución del AFE. Sin embargo, observaron que la especie *C. chinense* presentó menor AFE que la especie *C. annuum* como una estrategia para evitar la pérdida de agua, ya que si hay una menor superficie de hoja, menor será la transpiración. Estos resultados pueden explicar la disminución del AFE de las tres accesiones bajo estudio en relación al período de déficit hídrico durante el ensayo.

### **Discusión final**

El ICR demuestra que cada una de las accesiones acumuló biomasa seca de forma variable durante las diferentes fases fenológicas, y su tendencia fue decreciente presentando valores más bajos durante la fase de fructificación. Tanto el IAN como la RAF tienen una implicación directa en el ICR, ya que el crecimiento de las plantas está influenciado por la eficiencia fotosintética de las hojas (IAN), así como por el tamaño del aparato fotosintético con respecto a la biomasa seca de las plantas (RAF). En ese sentido, se evidenció que los valores más altos del IAN se obtuvieron debido a la producción de hojas durante la fase de fructificación, lo cual indica que las tres accesiones fueron eficientes en la producción de materia seca por unidad de área foliar destinada a la formación y llenado de los frutos. Estos resultados coinciden con los reportados por Azofeifa (2000), Azofeifa y Moreira (2004) y Cruz-Huerta *et al.* (2005).

En cuanto a la RAF, se observó una tendencia decreciente en todas las accesiones durante todo el ensayo, ya que mientras la RAF disminuye, aumenta la biomasa seca de las plantas, debido al aumento en peso de otros órganos como tallo, raíces, flores y frutos, lo cual coincide con lo reportado por Azofeifa (2000) y Azofeifa y Moreira (2004). Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores más bajos durante la fase de fructificación, sin embargo, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó valores por encima de las accesiones anteriores, demostrando que hubo un menor incremento en biomasa seca total, coincidiendo con el hecho de que fue la accesión con la menor biomasa seca total durante todo el ensayo.

Ahora bien, para interpretar adecuadamente la RAF, se debe desglosar en sus componentes: RPF y AFE. Estos índices permiten estimar la producción de biomasa foliar en función de la biomasa seca total de las plantas (RPF), así como el espesor foliar como consecuencia de la superficie de las hojas en función de su propia biomasa (AFE). En ese sentido, la RPF de las tres accesiones de ají tuvo una tendencia decreciente, ya que la biomasa seca total se incrementó durante todo el ensayo, coincidiendo con los resultados reportados por Aldana (2004), Vásquez (2005) y Niño (2018). Sin embargo, la accesión OSP-HOR-14-726 presentó la mayor RPF, lo que indica que acumuló más biomasa seca en las hojas en función de su biomasa seca total, que en el resto de sus órganos. Por el contrario, las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores más bajos y en constante descenso, ya que las plantas acumularon más biomasa seca en otros órganos como tallos, raíces, flores y frutos de acuerdo a las diferentes fases fenológicas. Es importante resaltar que la accesión OSP-HOR-10-988, fue la que presentó la mayor acumulación de biomasa seca total durante el ensayo.

Por otra parte, el AFE presentó fluctuaciones en cuanto al espesor de las hojas a lo largo del ensayo, y se infiere que las mismas se reflejaron en los valores de la RAF. Vega *et al.* (2012), explican que la planta en sus primeras etapas de crecimiento invierte en la formación de hoja, por lo que el AFE es útil para explicar en ocasiones hasta el 80% de la variación la tasa de crecimiento de la planta, sin embargo, Villar *et al.* (2004), señalan que otros factores puedan contribuir sobre la tasa de crecimiento, como la proporción de biomasa distribuida en los diferentes órganos, las tasas de fotosíntesis y de respiración, o la composición química de la hoja.

La accesión OSP-HOR-14-726 presentó los valores más altos de AFE, demostrando que sus hojas fueron más grandes y más delgadas, en ese sentido, Aldana (2004) citó a Verhangen (1963) en su investigación, y señaló que un incremento de AFE, sombrea las hojas inferiores de la planta, quedando las hojas superiores fuertemente iluminadas, donde el proceso de respiración excede a la fotosíntesis, provocando la caída del IAN, lo cual coincide con en la Figura 24, en donde se muestra que la accesión OSP-HOR-14-726 presentó los valores más bajos de IAN. Mientras que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores más bajos de AFE, lo cual indica que sus hojas fueron más pequeñas y gruesas, específicamente durante la fase reproductiva y de fructificación. En ese sentido, González *et al.* (2019), señalan que un AFE bajo se asocia con hojas más duras o más densas, lo cual es una ventaja para que las hojas persistan

más. Por otro lado, esta respuesta del AFE, coincide con la disminución de la RAF durante las mismas fases fenológicas.

Finalmente, es interesante resaltar que la accesión OSP-HOR-10-988 fue la que presentó menor AFE, lo cual se traduce en hojas más gruesas y menor área, lo que podría ser favorable para las plantas debido a que presentan mayor contenido de componentes fotosintéticos por unidad de área. Esto a su vez, podría ser ventajoso durante la fase de fructificación en la cual las plantas requieren mayor cantidad de fotoasimilados para suplir a los órganos sumideros como los frutos.

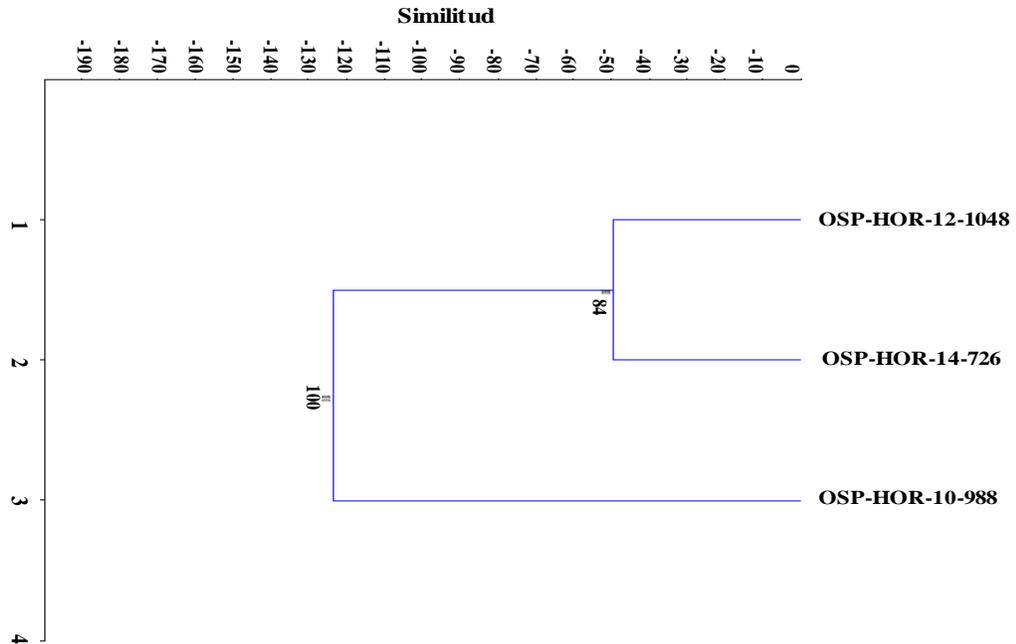
Los resultados demostraron que a través del uso de los índices de crecimiento se evidenció que hay diferencias entre las tres accesiones de ají bajo estudio, con respecto a sus características morfofisiológicas. El crecimiento de las plantas es naturalmente afectado por el ambiente, siendo dicho crecimiento mucho mejor cuando las condiciones externas son favorables. Sin embargo, bajo las mismas condiciones, las diferencias entre plantas pueden deberse a su genotipo.

### **IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOFISIOLÓGICAS QUE PUDIERAN SER UTILIZADAS DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO O PRE-MEJORA.**

Se consideraron dos grupos de variables para los análisis de conglomerados, tales como las variables morfofisiológicas (número de hojas, área foliar, biomasa seca foliar, biomasa seca de tallo, biomasa seca de raíz, biomasa seca de frutos, biomasa seca total, altura de planta, diámetro de tallo e índice de clorofila SPAD); y las variables de rendimiento (longitud de fruto, diámetro de fruto, grosor del pericarpio de fruto, peso de 100 semillas, peso promedio de fruto, peso promedio de frutos, el peso de 100 semillas, número de frutos, número de semillas por fruto y rendimiento por planta), empleando los valores promedios del último muestreo (85 ddt).

#### **Análisis multivariado (Dendrograma)**

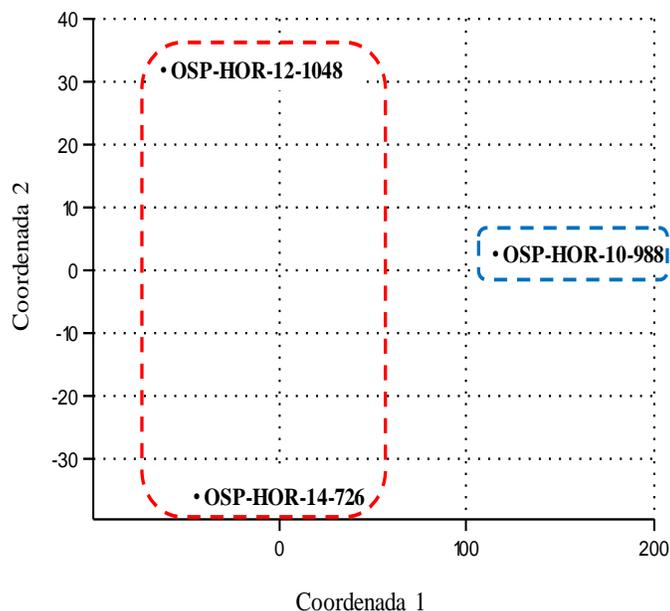
El análisis permitió obtener el conglomerado jerárquico de las tres accesiones de ají, en función a la distancia euclidiana, y se obtuvo la representación gráfica de los resultados en el dendrograma. De acuerdo con la información aportada por el dendrograma, se observó la formación de dos grupos discriminantes (Figura 28).



**Figura 28.** Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento UPGMA y distancia genética euclidiana para las tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.), y las variables morfofisiológicas y de rendimiento.

El primer grupo estuvo conformado por las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, y el segundo grupo por la accesión OSP-HOR-10-988. Además, siguiendo la escala de los valores del coeficiente de correlación cofenética, propuesta por Sokal y Rohlf (1962), para inferir la similitud de la estructura jerárquica entre las accesiones de ajíes (>0,9 ajuste perfecto; entre 0,7-0,9 ajuste intermedio y < 0,7 bajo ajuste) en la distribución de la estructura jerárquica, se obtuvo que el CCC del dendrograma fue de 0,987, lo cual pudo inferir un ajuste perfecto en la estructura jerárquica de la evaluación de las variables morfofisiológicas y de rendimiento entre las tres accesiones de ají. Es decir, el dendrograma obtenido, basado en la distancia genética euclidiana, permitió describir el agrupamiento de las accesiones.

Del mismo modo, se comprobó con los resultados del análisis de coordenadas principales (Figura 29), la formación de dos grupos, estando el primero conformado por las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, y el segundo por la accesión OSP-HOR-10-988.



**Figura 29.** Análisis de coordenadas principales para las tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.), y las variables morfofisiológicas y de rendimiento.

Con base a la información obtenida a través del dendrograma y el análisis de coordenadas principales queda en evidencia que existen diferencias entre las accesiones de acuerdo a sus variables. En este sentido, al analizar el dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento UPGMA y distancia genética de Jaccard para las 12 accesiones de ají (*Capsicum* sp.) de la Unidad de Recursos Fitogenéticos INIA-CENIAP y los tres cebadores RAPD (OPA-02, OPE-03 y OPE-04) (Figura 4), se observó a nivel molecular la conformación de dos grupos. Las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 estuvieron incluidas en el primer grupo, pero dentro de dicho grupo, la accesión OSP-HOR-10-988 se separó en el primer subgrupo a una distancia de 0,20 de similitud y la accesión OSP-HOR-14-726 estuvo en el segundo subgrupo a una distancia de 0,34 de similitud, lo cual indica que a pesar de pertenecer a un mismo grupo en cuanto a la similitud genética, existen diferencias que las separan y estas pudieran ser identificadas a nivel morfológico. En el caso de la accesión OSP-HOR-12-1048, estuvo incluida en el segundo grupo a una distancia de 0,62 de similitud, separándose molecularmente de las otras dos accesiones.

### Coefficiente de Correlación de Pearson ( $r$ )

Con base a los resultados del análisis multivariado en los cuales se evidenció que existen diferencias entre las tres accesiones de ají, se procedió a determinar la correlación entre las variables morfofisiológicas y de rendimiento, y para lo cual se realizó una matriz de los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ), que permitió medir el grado de relación de dos variables cuantitativas (Cuadro 22).

**Cuadro 22.** Matriz de los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre las características morfofisiológicas de mayor variabilidad de tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.).

	AF	DTP	SPAD	AP	BSF	BST	BSR	BSTO	NH	BSFr	NF	PPF	LF	DF	GP	NSF	P100S	Rend
AF	1																	
DTP	-0,97 <sup>ns</sup>	1																
SPAD	0,02 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	1															
AP	-0,77 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1														
BSF	0,17 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	1													
BST	0,15 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,98 <sup>ns</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	-0,95 <sup>ns</sup>	1												
BSR	0,52 <sup>ns</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	-0,84 <sup>ns</sup>	-0,9 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	1											
BSTO	0,04 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	-1 <sup>*</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	-0,98 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1										
NH	0,79 <sup>ns</sup>	-0,91 <sup>ns</sup>	-0,6 <sup>ns</sup>	-1 <sup>*</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	1									
BSFr	0,27 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,96 <sup>ns</sup>	-0,8 <sup>ns</sup>	-0,9 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1								
NF	0,03 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	1 <sup>**</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	-1 <sup>ns</sup>	-0,83 <sup>ns</sup>	-1 <sup>*</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>	-1 <sup>ns</sup>	1							
PPF	1 <sup>ns</sup>	-0,95 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	1						
LF	0,73 <sup>ns</sup>	-0,86 <sup>ns</sup>	-0,67 <sup>ns</sup>	-1 <sup>*</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1					
DF	0,46 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	-0,8 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,87 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,7 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	1				
GP	0,18 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1 <sup>**</sup>	-0,9 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	-0,97 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	-0,9 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,54	0,96 <sup>ns</sup>	1			
NSF	0,9 <sup>ns</sup>	-0,78 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	-0,4 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	-0,3 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	-0,2 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	1		
P100S	-0,66 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	-0,8 <sup>ns</sup>	-0,99 <sup>ns</sup>	-0,78 <sup>ns</sup>	-0,98 <sup>ns</sup>	-0,9 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>	-1 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	1	
Rend	0,42 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	-0,8 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	-0,89 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,8 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	1 <sup>*</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	1

\*valores significativos ( $p < 0,05$ ), \*\*valores altamente significativos ( $p < 0,01$ ) y valores no significativos (ns). Variables: Altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), índice de clorofila (SPAD), área foliar (AF), biomasa seca foliar (BSF), biomasa seca de tallo (BST), biomasa seca de raíz (BSR), biomasa seca total (BSTO), número de hojas (NH), biomasa seca de frutos (BSFr), número de frutos (NF), peso promedio de fruto (PPF), longitud de fruto (LF), diámetro de fruto (DF), grosor del pericarpio de fruto (GP), número de semillas por fruto (NSF), peso de 100 semillas (P100S) y rendimiento por planta (Rend).

Los resultados de los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) mostraron que hubo una correlación lineal positiva y altamente significativa entre las variables SPAD y NF ( $r = 1,00^{**}$ ) y las variables BSH y GP ( $r = 1,00^{**}$ ), lo cual demostró que el índice de clorofila (SPAD) tuvo un impacto positivo en el número de frutos (NF), así como la acumulación de biomasa seca de hojas (BSH) influyó en el grosor del pericarpio del fruto (GP). En el mismo sentido, hubo una correlación lineal positiva y significativa entre las variables DF y Rend ( $r = 1,00^*$ ), indicando que el diámetro de frutos está asociado positivamente con el rendimiento.

En contraste, las variables SPAD/BSTO, AP/NH, AP/LF y BSTO/NF mostraron una correlación lineal negativa y significativa ( $r = -1,00^*$ ), indicando una asociación negativa entre ellas. En ese sentido, el contenido de clorofila (SPAD) estuvo afectado negativamente en la medida de que las plantas acumularon biomasa seca total (BSTO). De igual manera, la altura de planta (AP) estuvo influenciada de forma negativa a medida de que el número de hojas (NH) y la longitud de frutos (LF) aumentaron. Finalmente, la biomasa seca total (BSTO) mostró una influencia negativa en cuanto al número de frutos (NF), y cabe destacar que la variable NF no fue significativa al momento de su evaluación. El resto de las correlaciones entre las variables evaluadas presentaron valores no significativos.

En este sentido, Peña (2020), reportó en su investigación para la obtención de híbridos de alto potencial productivo mediante la selección de progenitores de chile habanero (*C. chinense*), que las variables diámetro de fruto y rendimiento presentaron una correlación lineal positiva y no significativa ( $r = 0,13^{ns}$ ), lo cual difiere de los resultados reportados para la correlación entre DF/Rend del presente estudio. Sin embargo, la autora reporta correlaciones lineales positivas significativas y altamente significativas entre variables que fueron no significativas en la presente investigación, tales como: altura de planta y diámetro de tallo, diámetro de tallo y rendimiento, diámetro de fruto y grosor del pericarpio del fruto, diámetro de fruto y número de semillas y, peso de fruto y número de semillas.

En ese mismo orden de ideas, Ortega *et al.* (2022), en su investigación para seleccionar tres híbridos de pimiento (*C. annuum*) reportaron correlaciones lineales negativas y altamente significativas entre las variables altura de planta y peso de fruto ( $r = -0,23^{**}$ ), y número de frutos y peso de fruto ( $r = -0,63^{**}$ ), lo cual difiere de los resultados obtenidos debido a que ambas correlaciones fueron no significativas. De igual manera, los autores citados obtuvieron

correlaciones lineales positivas y no significativas entre número de frutos y diámetro de tallo ( $r = 0,05^{ns}$ ) y, número de frutos y altura de planta ( $r = 0,12^{ns}$ ), así como correlaciones lineales negativas y no significativas entre peso de fruto y diámetro de fruto ( $r = -0,14^{ns}$ ), coincidiendo con los resultados reportados en el presente estudio.

Por otra parte, Escalera-Ordaz *et al.* (2019), en su caracterización de variedades cultivadas de *Capsicum pubescens*, reportaron una correlación lineal positiva y significativa entre las variables peso de fruto y diámetro de fruto ( $r = 0,83^*$ ), lo cual difiere de los resultados obtenidos. De igual manera, Monge *et al.* (2022), reportaron correlaciones lineales positivas y altamente significativas entre las variables altura de planta y área foliar, y diámetro de fruto y peso de fruto; así como correlaciones negativas y altamente significativas entre área foliar y grosor del pericarpio, número de fruto y peso de fruto, grosor del pericarpio y número de fruto, diámetro de fruto y grosor del pericarpio, y diámetro de fruto y número de frutos. Estos resultados, difieren de los reportados en esta investigación, debido a que las mismas correlaciones fueron no significativas.

Es posible que las diferencias observadas entre las investigaciones consultadas y el presente estudio, se deban a las condiciones ambientales en las cuales fueron llevados a cabo cada uno de los ensayos. Además, es posible que haya variables más susceptibles a las dichas condiciones ambientales que otras, por lo cual no obtuvieron resultados diferentes. También se debe considerar que, las variables evaluadas difieren de muchas variables que se tomaron en cuenta en las investigaciones previamente citadas.

### **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

El análisis de componentes principales (ACP), se realizó como otra forma de representar visualmente el ordenamiento de las tres accesiones para identificar aquellas variables que pudieran ser utilizadas dentro de un programa de mejoramiento genético o pre-mejora, así como para observar la ubicación espacial de los grupos conformados por las accesiones que presentaron mayor similitud entre ellas. De acuerdo a la información del Cuadro 23, la sumatoria de los dos primeros componentes fue mayor a 100%, por lo tanto el componente 1 y 2 explicaron la variabilidad en las tres accesiones de ají.

**Cuadro 23.** Valor del porcentaje de la varianza explicada por los componentes principales para las variables morfofisiológicas y de rendimiento en tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.).

Componente principal	% de varianza
1	90,44
2	95,61

En este sentido, los resultados del ACP permitieron diferenciar las tres accesiones (OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048) de acuerdo a cuatro variables (morfofisiológicas y de rendimiento) con la mayor capacidad de expresar la variabilidad entre ellas, con base a la información obtenida por los componentes 1 y 2. Dicha separación fue debida principalmente por las variables área foliar (AF) y número de hojas promedio (NH), aunque también se destacaron la biomasa seca total (BSTO) y el rendimiento (Rend) (Cuadro 24).

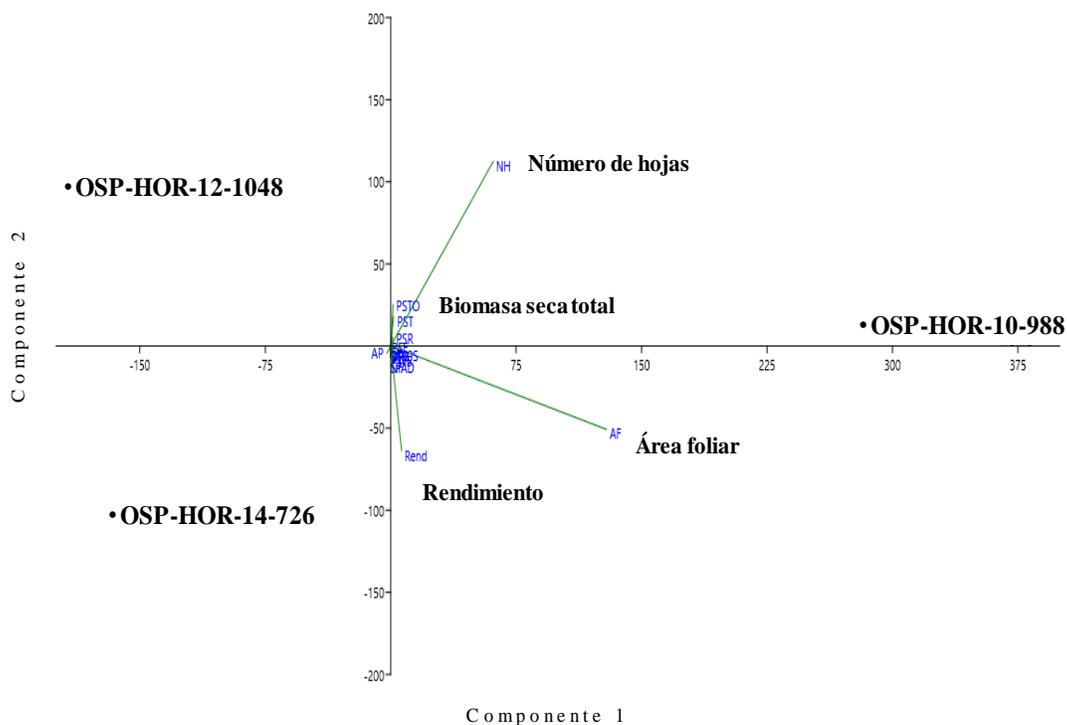
**Cuadro 24.** Valores promedio de las variables morfofisiológicas y de rendimiento de las tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.).

Accesión	AF	NH	BSTO	Rend
OSP-HOR-14-726	1247,09 cm <sup>2</sup>	132,60	34,29 g	<b>172,55 g/planta</b>
OSP-HOR-10-988	<b>1681,97 cm<sup>2</sup></b>	<b>446,40</b>	59,21 g	146,71 g/planta
OSP-HOR-12-1048	1142,71 cm <sup>2</sup>	278,00	<b>69,93 g</b>	79,87 g/planta

AP: Altura de planta. NH: número de hojas. BSTO: biomasa seca total. Rend: Rendimiento.

En la Figura 30, se presenta el diagrama del análisis de componentes principales (biplot) utilizando los valores promedio de las variables (Cuadro 24), y se observa que en el primer componente (CP1) se separó la accesión OSP-HOR-10-988 debido a que presentó mayor área foliar (AF) y número de hojas promedio (NH), 1.681,97 cm<sup>2</sup> y 446,40 hojas, respectivamente. En el mismo componente (CP1), se separó la accesión OSP-HOR-14-726 al presentar el mayor rendimiento promedio (172,55 g/planta).

En la parte izquierda del biplot, se ubicaron las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, coincidiendo estos resultados con los obtenidos en el dendrograma (Figura 28) y el análisis de coordenadas principales (Figura 29). En el segundo componente (CP2), se separó la accesión OSP-HOR-12-1048 al presentar la mayor biomasa seca total promedio (69,93 g).



**Figura 30.** Diagrama del análisis de componentes principales (biplot) de las tres accesiones de ají (*Capsicum* sp.) con base a las variables morfofisiológicas y de rendimiento de mayor variabilidad.

González (2021) en su investigación para caracterizar molecular y fenotípicamente los recursos fitogenéticos de *Capsicum* spp., señaló que la mayor variabilidad está relacionada al tamaño del fruto, lo que le permitió diferenciar las especies *C. chinense* (frutos pequeños) y *C. annuum* (frutos grandes), además señaló que la menor variabilidad está relacionada con la arquitectura de la planta. De igual manera, Quevedo y Laurentín (2020) señalaron que las variables cuantitativas como longitud, ancho y peso de fruto en *C. chinense* fueron las que presentaron mayor variabilidad, logrando identificar estadísticamente las diferencias entre los cultivares evaluados.

En diversas investigaciones realizadas en el género *Capsicum*, el análisis de componentes principales (ACP) ha demostrado que las variables de mayor contribución están relacionadas con características del fruto (forma, tamaño y color), así como características de la planta, lo que permite señalar que existe una gran diversidad morfológica.

En ese sentido, Escalera-Ordaz *et al.* (2019) obtuvieron la formación de tres componentes principales que explicaron la variabilidad entre variedades cultivadas de diferentes especies del

género *Capsicum*, ubicándose el largo de la hoja y largo del fruto en el CP1; peso de semilla, volumen del fruto, ancho del fruto y peso de fruto en el CP2 y color del fruto, número de lóculos y color de semilla en el CP3. Estos resultados difieren de los obtenidos en la presente investigación, debido a que las variables que permitieron separar las tres accesiones de ají son distintas.

De igual forma, Villota-Cerón *et al.* (2012) reportaron la formación de cuatro componentes principales, en los cuales predominaron las características de frutos y de la planta, de modo que en el CP1 se ubicó el peso de fruto, grosor de la pared del fruto, ancho y largo de fruto; en el CP2 se ubicó el ancho de la planta y, el ancho y longitud de hoja; en el CP3 solo se ubicó la altura de la planta y, finalmente en el CP4 se ubicó la longitud de la corola, y del pecíolo. Considerando que para medir el área foliar se toma en cuenta el ancho y la longitud de la hoja, se puede establecer que estas variables coinciden con los resultados obtenidos en la presente investigación en la cual el área foliar fue una de las variables principales que permitió la separación entre las tres accesiones de ají bajo estudio.

Cabe destacar que, a pesar de que la variable altura de planta no está dentro de aquellas variables que permitieron separar a las tres accesiones de ají, algunas investigaciones han demostrado su importancia para tal fin. En este sentido, Zúñiga y Carrodegua (2022), en su evaluación sobre el comportamiento agronómico de poblaciones F1 de chile dulce (*C. annuum*) provenientes de cruces entre los cultivares Bell Pepper y Nathalie, demostraron un buen comportamiento para las variables altura de la planta y número de frutos. Además, hacen referencia a que en mejoramiento genético, la altura de la planta adquiere relevancia al considerarse este carácter de importancia agronómica para obtener rendimientos altos.

En el mismo orden de ideas, Elizondo y Monge (2017) señalaron que la altura de la planta es una característica varietal que se ve influenciada por la interacción genotipo-ambiente que pueden provocar diferencias entre los genotipos, además de que es favorable que las plantas tengan un buen desarrollo vegetativo con adecuada cobertura de hojas, ya que esto reduce el riesgo de quemaduras del fruto por exposición solar. Tomando en consideración esta información, se puede sugerir entonces que en la presente investigación, el número de hojas tiene relevancia al proporcionar dicha cobertura y ser parte fundamental del desarrollo vegetativo, siendo una de las principales variables obtenidas en el biplot.

## **Discusión final**

Con la finalidad de darle un valor agregado a la colección existente de accesiones de ají del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA – CENIAP), se evaluó el crecimiento de tres accesiones provenientes de diferentes estados del territorio nacional (Nueva Esparta, Aragua y Sucre), y de esta manera poder identificar aquellas variables que pudieran ser utilizadas dentro de un programa de mejoramiento o premejoramiento genético.

El valor de las colecciones de recursos fitogenéticos reside en la utilización que de ellas se haga para producir nuevos cultivares, domesticar nuevas especies y desarrollar nuevos productos, para el beneficio de las actividades productivas. Y en ese sentido, las colecciones deben proveer a los fitomejoradores, la variabilidad genética necesaria para identificar genotipos potenciales para su uso como progenitores, siendo para ello imprescindible conocer las características del germoplasma conservado. En ese sentido, el premejoramiento es la alternativa más prometedora para conectar los recursos fitogenéticos con los programas de mejoramiento, con la finalidad de encontrar características deseables y que sean de interés agronómico, lo que abre la posibilidad de realizar programas de mejoramiento al combinarlas y de esta manera, darle la valorización genética al germoplasma, lo cual permite desarrollar nuevas variedades de cultivos (Puc, 2015; Carrodegua y Zúñiga, 2022; Medina *et al.*, 2017; Pritsch, 2001).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, las variables estudiadas permitieron caracterizar y separar las tres accesiones de ají a través del análisis multivariado y el análisis de coordenadas principales (ACoP), los cuales coincidieron en la formación de dos grupos, estando el primero conformado por las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, y el segundo por la accesión OSP-HOR-10-988. Dicha distribución se debe al genotipo, lo cual pudo comprobarse en el análisis molecular mediante el uso de marcadores de tipo RAPD para caracterizarlas genéticamente, y en el cual las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 presentaron similitud genética pero al evaluar sus variables morfofisiológicas y de rendimiento, se evidenciaron diferencias entre ellas.

Aunado a estos resultados, también se obtuvo información valiosa para la caracterización morfofisiológica, a través de aquellas variables que interactuaron significativamente y que

presentaron correlación positiva y negativa, con las cuales pudo medirse el grado de relación entre dos variables cuantitativas. Además, se obtuvieron las variables con mayor capacidad de expresar la variabilidad, siendo las principales el área foliar (AF) y el número de hojas promedio (NH) que permitieron la separación de la accesión OSP-HOR-10-988 y ponen de manifiesto su importancia en cuanto a aquellas características a considerar en un programa de premejoramiento o mejoramiento genético. Asimismo, el mejor rendimiento lo posee la accesión OSP-HOR-14-726, y la más eficiente en acumulación de biomasa seca total fue la accesión OSP-HOR-12-1048.

Finalmente, toda la información obtenida en la presente investigación le añade un valor potencial a la colección de ají perteneciente al Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP, ya que representa un reservorio genético al cual los fitomejoradores pueden recurrir con la finalidad de utilizar las características agronómicas deseables, e incorporarlas en futuras investigaciones en el género *Capsicum*.

## CONCLUSIONES

- De los 19 cebadores utilizados, solamente se observó la mejor resolución en sus productos de amplificación en tres de ellos: OPA-02, OPE-03 y OPE-04. Estos tres cebadores fueron de mejor poder para discriminar las diferencias genéticas entre las 12 accesiones de ajís.
- El cebador OPE-03 fue el de mayor información que permitió evaluar la variabilidad y el polimorfismo genético entre las accesiones del Género *Capsicum* evaluadas. El cebador OPE-04 muestra un gran aporte científico en los estudios de variabilidad genética en especies cultivadas del Género *Capsicum*, ya que no se había reportado con anterioridad.
- En el análisis multivariado (dendrograma), se observó la formación de dos grupos discriminantes, asociados posiblemente con la presencia de pungencia en las accesiones. El primer grupo que presentó pungencia estuvo conformado por seis accesiones: OSP-HOR-10-988, OSP-HOR-10-399, OSP-HOR-14-726, OSP-HOR-14-981, OSP-HOR-19-1047 y OSP-HOR-19-1046. El segundo grupo sin pungencia estuvo conformado por seis accesiones: OSP-HOR-12-1048, OSP-HOR-11-479, OSP-HOR-10-995, OSP-HOR-14-727, OSP-HOR-10-989 y OSP-HOR-10-991.
- En el análisis de componentes principales (ACP) confirmó que los grupos aparentemente están separados por aquellas accesiones que poseen pungencia y las accesiones que no la poseen, como fue jerarquizado genéticamente en el dendrograma. Sin embargo, éste análisis permitió separar de manera clara a la accesión (12) OSP-HOR-19-1046 del resto, y posiblemente dicha accesión no ha sido clasificada con precisión por la URG INIA-CENIAP como una especie de ají dulce del género *Capsicum*.
- Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 fueron las mejores en cuanto a la acumulación de biomasa seca total. Sin embargo, para la variable altura de planta, la mejor fue la accesión OSP-HOR-14-726. En relación, al diámetro de tallo, las mejores fueron OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, mientras que para la variable índice de clorofila (SPAD), OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 mostraron los mejores resultados.

- Para las variables de rendimiento, se observó que la accesión OSP-HOR-10-988 mostró la mayor longitud de frutos y acumulación de biomasa fresca en frutos, mientras que la variable diámetro de frutos, OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-10-988 mostraron los mejores valores. Por otro lado, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó el mayor peso de 100 semillas.
- El índice de crecimiento relativo (ICR) demuestra que cada una de las accesiones acumuló biomasa seca de forma variable durante las diferentes fases fenológicas, y su tendencia fue decreciente presentando valores más bajos durante la fase de fructificación. En cuanto al índice de asimilación neta (IAN), las tres accesiones fueron eficientes en la producción de materia seca por unidad de área foliar destinada a la formación y llenado de los frutos.
- En relación a la razón de área foliar (RAF), se observó una tendencia decreciente en todas las accesiones durante todo el ensayo. Las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores más bajos durante la fase de fructificación, sin embargo, la accesión OSP-HOR-14-726 fue la que presentó valores por encima de las accesiones anteriores.
- La razón de peso foliar (RPF) de las tres accesiones de ají tuvo una tendencia decreciente, ya que la biomasa seca total se incrementó durante todo el ensayo. La accesión OSP-HOR-14-726 presentó la mayor RPF, lo que indica que acumuló más biomasa seca en las hojas en función de su biomasa seca total, que en el resto de sus órganos. Mientras que las accesiones OSP-HOR-10-988 y OSP-HOR-12-1048 presentaron valores más bajos y en constante descenso, ya que las plantas acumularon más biomasa seca en otros órganos como tallos, raíces, flores y frutos de acuerdo a las diferentes fases fenológicas.
- La accesión OSP-HOR-14-726 presentó los valores más altos de área foliar específica (AFE), demostrando que sus hojas fueron más grandes y más delgadas. Por otro lado, la accesión OSP-HOR-10-988 fue la que presentó menor AFE, lo cual se traduce en hojas más gruesas y menor área, lo que podría ser favorable para las plantas debido a que presentan mayor contenido de componentes fotosintéticos por unidad de área.

- El uso de los índices de crecimiento evidenció que hay diferencias entre las tres accesiones de ají bajo estudio, con respecto a sus características morfofisiológicas.
- Las variables morfofisiológicas y de rendimiento permitieron caracterizar y separar las tres accesiones de ají a través del análisis multivariado y el análisis de coordenadas principales (ACoP), los cuales coincidieron en la formación de dos grupos, estando el primero conformado por las accesiones OSP-HOR-14-726 y OSP-HOR-12-1048, y el segundo por la accesión OSP-HOR-10-988.
- Las variables morfofisiológicas principales con la mayor capacidad de expresar la variabilidad, son: área foliar (AF) y número de hojas promedio (NH), las cuales permitieron la separación de la accesión OSP-HOR-10-988. Asimismo, el mejor rendimiento se presentó en la accesión OSP-HOR-14-726, y la más eficiente en acumulación de biomasa seca total fue la accesión OSP-HOR-12-1048. Por lo tanto, la información obtenida, demostró que dichas variables le añade un valor potencial a la colección de ají perteneciente al Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP, con la finalidad de utilizar éstas características agronómicas, e incorporarlas en futuros programas de premejoramiento o mejoramiento genético en el género *Capsicum*.

## RECOMENDACIONES

- El cebador OPE-04 debería incorporarse en los estudios de variabilidad genética en especies cultivadas del Género *Capsicum*, debido a que en la presente investigación aportó información científica muy valiosa.
- Evaluar las variables morfológicas destructivas, no destructivas y de rendimiento, así como los índices de crecimiento en las nueve accesiones de ají restantes provenientes del Banco de Germoplasma del INIA–CENIAP Maracay, con la finalidad de hacer las comparaciones respectivas y aportarle más valor a la colección con fines de premejoramiento o mejoramiento genético.
- Evaluar las 12 accesiones utilizando como comparadores los índices de crecimiento fisiológicos ICR, IAN y RAF.
- En futuras investigaciones, calcular la concentración de clorofila calibrando el SPAD con hojas de diferentes grados de verdor y extraer la clorofila foliar con acetona o cualquier solvente apropiado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abello, M. 2016. Caracterización agromorfológica de accesiones autóctonas de ají dulce en Venezuela. Trabajo de Pregrado. Aragua, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 62p.
- Aldana, J.L. 2004. Análisis de crecimiento de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en acolchado con diferentes películas fotoselectivas. Trabajo de Grado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. 78p.
- Alemán, R.; J. Domínguez; Y. Rodríguez; S. Soria; R. Torres; J. Vargas; C. Bravo; J. Alba. 2018. Indicadores morfofisiológicos y productivos del pimiento sembrado en invernadero y a campo abierto en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Centro Agrícola* 45:14-23.
- Aljalaly, S.S.; H.N. Hussain Al-Mentafji; A.L. Aziz Al-Arzawazi. 2018. The effect of salicylic acid, fertilizer NPKZn and water stress on the pepper plant, *Capsicum annuum* L. *Int. J. Agricult. Stat. Sci.* 14:705-712.
- Angulo, L.; I. Pérez; G. Osorio; C. Ramis; A. Bedoya; S. Molina; D. Infante. 2013. Estudio de la diversidad genética de nueve especies de *Cattleya* utilizando RAPD y ISTR. *Bioagro (Venezuela)* 25:23-30.
- Archila, P.; U. Contreras; H. Pinzón; H. Laverde; G. Corchuelo. 1998. Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). *Agronomía Colombiana (Colombia)* 15: 68-75.
- Arévalo, M. 2012. Evaluación del rendimiento en 5 densidades de siembra de *Capsicum frutescens* L. (ají charapita) en un ultisols de Pucallpa – Ucayali. Trabajo de Pregrado. Pucallpa, Perú: Universidad Nacional de Ucayali. 68p.
- Azofeifa, A. 2000. Análisis de crecimiento y de la absorción de nutrimentos en dos tipos de chile (*Capsicum annuum* L.) en Alajuela. Trabajo de Pregrado. Alajuela, Costa Rica; Universidad de Costa Rica. 123p.
- Azofeifa, Á.; M. Moreira. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28: 57-67.

- Barboza, G.E.; C. Carrizo García; L. de Bem Bianchetti; M.V. Romero; M. Scaldaferrero. 2022. Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum* L., Solanaceae). *PhytoKeys* 200: 1–423.
- Barraza, F. V.; G. Fischer; C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana* 22:81-90.
- Bhattarai, D. R.; S.K. Maharjan; I.P. Gautam; S. Subedi; S. Pokhrel. 2020. Evaluation of capsicum (*Capsicum annuum* L.) genotypes for variety improvement. *Journal of Agriculture and Forestry University* 4: 139-144
- Bobadilla, V.; E. Esparza; L. Delgadillo; P. Gallegos; J. Ayala. 2017. Variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) identificadas mediante marcadores RAPD. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20: 465-473.
- Brilhante, B.D.G.; T.d.O. Santos; P.H.A.D. Santos; S.H. Kamphorst; J.D.S. Neto; L.H. Rangel; F.V. Valadares; R.N. de Almeida; R. Rodrigues; A.C.S. Júnior. 2021. Phenotypic and molecular characterization of brazilian *Capsicum* germplasm. *Agronomy* 11: 1-15.
- Cárdenas, J. 2020. Extracción y distribución de nutrientes en Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon y su relación con la presencia de *Fusarium oxysporum* Schltdl. Trabajo de Grado Maestría. Palmira, Colombia; Universidad Nacional de Colombia. 56p.
- Carrodegua, A.; A. Zúñiga. 2022. Métodos utilizados para la selección de parentales en pre-mejoramiento genético de plantas. *Cultivos Tropicales* 43: 1-24.
- Castellanos, C.; J.A. Barrera; M.S. Hernández; L.M. Melgarejo; M. Carrillo; L. Rodríguez; O. Martínez. 2009. Efecto de la densidad de plantación sobre crecimiento, producción y calidad en cinco accesiones de aji (*Capsicum* spp.) cultivadas en la Amazonia occidental colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 3: 95-109.
- Castillo, A. 2019. Evaluación agronómica de ajíes promisorios de la colección de germoplasma de *Capsicum* del programa de hortalizas de la UNALM. Trabajo de Pregrado. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 60p.

- Charlo, HCO.; SF. Oliveira; R. Castoldi; PF. Vargas; LT. Braz; JC. Barbosa. 2011. Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. *Horticultura Brasileira* 29: 316-323.
- Chavarro M.; J. Ángel. 2006. Establecimiento de un sistema diagnóstico para la detección de *Ralstoniasolanacearum* y diferenciación genética utilizando marcadores moleculares RAPD. *Revista Colombiana Biotecnol (Colombia)* 8: 14-31.
- Cruz, D.; J. Legua; Y. Vélez; F. Caro; A. Cruz. 2019. Evaluación de densidades de siembra sobre el rendimiento de Ají Páprika (*Capsicum annuum* L.) var. Bella. *Big Bang* 8:25-29.
- Cruz-Huerta, N.; J. Ortiz-Cereceres; F. Sánchez del Castillo; M. Mendoza-Castillo. 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 287-293.
- da Silva Costa, F.; A. Suassuna de Lima; I. Dourado Magalhães; L.H. Garófalo Chaves; H.O. Carvalho Guerra. 2018. Fruit production and SPAD index of pepper (*Capsicum annuum* L.) under nitrogen fertilizer doses. *Australian Journal of Crop Science* 12: 11-15.
- Dada, O.; Y. Ogunesu. 2016. Growth analysis and fruit yield of *Capsicum chinense*, Jackquin as influenced by compost applied as foliar spray and soil augmentation in Ibadan, Southwestern Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability* 9: 83-103.
- Dávila, M.; H. Laurentín; M. Castillo. 2003. Utilidad de marcadores moleculares RAPD en la identificación de germoplasmas de Ajonjolí. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 53: 259-273.
- Defilipis, C.; S. Pariani; A. Jiménez; M.D. García. 2007. Caracterización del crecimiento de plantines de *Brassica rapa* var. pekinensis en contenedores. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias XXXIX*: 59-68.
- Delelegn, S. 2011. Evaluation of elite hot pepper varieties (*Capsicum species*) for growth, dry pod yield and quality under Jimma condition, South West Ethiopia. M.Sc. Thesis. Jimma, Ethiopia: Jimma University College of Agriculture and Veterinary Medicine. 58p.
- Dellaporta, S.; J. Wood; J. Hicks. 1983. A plant miniprep: Version II. *Plant Molecular Biology Report* 1:19-20.

- Di Benedetto, A.; J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA 42: 258-282.
- Di Dato, F.; M. Parisi; T. Cardi; P. Tripodi. 2015. Genetic diversity and assessment of markers linked to resistance and pungency genes in *Capsicum* germplasm. Euphytica 204:103-119.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada; C.W. Robledo. InfoStat, versión 2002. Grupo InfoStat, FCA: Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada; C.W. Robledo. InfoStat, versión 2017. Grupo InfoStat, FCA: Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Elizondo, E.; J. Monge. 2016. Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. Tecnología en Marcha 29:60-72.
- Elizondo, E.; J. Monge. 2017. Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. Revista InterSedes 18: 1-27.
- Escalera-Ordaz, A.K.; H. Guillén-Andrade; M.B.N. Lara-Chávez; C. Lemus-Flores; J.G. Rodríguez-Carpena; R. Valdivia-Bernal. 2019. Characterization of cultivated varieties of *Capsicum pubescens* in Michoacán, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 25: 239-251.
- Fahad, S.; A. Bajwa; U. Nazir; S.A. Anjum, A. Farooq; A. Zohaib; S. Sadia; W. Nasim; S. Adkins; S. Saud; M.Z. Ihsan; H. Alharby; C. Wu; D. Wang; J. Huang. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Front. Plant Sci. 8: 1147.
- Farinango, D. 2007. Caracterización molecular de la colección de Ajies (*Capsicum* spp.) y Calabazas (*Cucurbita* spp.) del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 88p.

- Farooq, M.; M. Hussain; A. Wahid; K. H. M. Siddique. 2012. Drought stress in plants: an overview. En: R. Aroca, eds. Plant Responses to Drought Stress. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 33p.
- Fernández, L.F.; L. Corozo; Á. Monteros; F. Arteaga Alcívar; R.E. Jaimez. 2022. Respuestas morfológicas y fisiológicas de dos especies de *Capsicum* (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) bajo condiciones de déficit de agua. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 39: 1-7.
- Fonnegra, R.; S. Jiménez. 2007. Plantas medicinales aprobadas en Colombia. Colección Salud. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 371p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. Fichas Técnicas. (20 Sep 2017) [en línea] [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/index.htm](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/index.htm)
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2023. Estadísticas: Cultivos y productos de ganadería. (2 Jun 2023) [en línea] <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Fosado, O.; E. Muñoz; A. Torres; J. Cué; E. Fidel; R. León; E. Fosado. 2018. Estimation of the foliar area by non-destructive methods in two stages of growth of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) hybrid Salvador. American Journal of Plant Sciences 9: 325-338.
- Garbanzo León, G.; M. Vargas Gutiérrez. 2017. Actividad microbiana en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste en Costa Rica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 11:159-169.
- Gardner, F.; R. Pearce; R. Mitchell. 1990. Physiology of crop plants. Iowa State Press, Ames. 327 p.
- Garruña-Hernández, R.; R. Orellana; A. Larque-Saavedra; A. Canto. 2014. Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. PLoS ONE 9: 1-9.
- Gómez, C.; C. Buitrago.; M. Cante.; B. Huertas. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. Revista Comalfi (Colombia) 26: 42-55.

- González, A.; A. Espinoza.; A. Cañizalez.; J. Méndez. 2008. Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado. Revista Científica UDO Agrícola. (Venezuela) 8: 118-126.
- González, I.; Y. Arias.; M. Quiñones.; I. Miranda.; Y. Rodríguez.; B. Peteira. 2011. Variabilidad molecular de genotipos de pimiento (*Capsicum annum* L.) del programa de mejoramiento genético para la resistencia a PVY. Revista de Protección Vegetal (Cuba) 26: 69-73.
- González, J. 2021. Caracterización molecular y fenotípica de recursos fitogenéticos de pimiento (*Capsicum spp.*) y búsqueda de genes asociados a caracteres fenotípicos de interés. Trabajo de Doctorado. La Coruña, España: Universidade Da Coruña. 276p.
- González, K. D.; M. Rodríguez; J. A. S. Escalante; J. L. García; M. E. Pedraza; J. Sánchez. 2019. Crecimiento y producción de chía (*Salvia hispánica* L.) en función de la irradiancia y fertilización orgánica. Interciencia 44: 340-346.
- Guerrero, D.; J. Barrera; M. Hernández; G. Vargas. 2007. Análisis de crecimiento durante la fase vegetativa de cinco fenotipos de copoazú *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum. en la amazonia occidental colombiana. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 1: 52-66.
- Gutiérrez, M. 2008. Visión global de los recursos genéticos. En Curso internacional de premejoramiento genético de plantas: Manejo eficaz de los recursos fitogenéticos para la agricultura del mañana, Venezuela. Oct 20-31. 2008. 152p.
- Gutiérrez, M.; C. Rincón. 2011. Caracterización de la variabilidad genética mediante el uso de marcadores RAPDs, de un grupo de genotipos nativos y comerciales de caraota en Venezuela. Agronomía Tropical (Venezuela) 67: 73-83.
- Hammer, D.; D. Harper; P. Ryan. 2001. PAST: Palaeontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontología Electronica 4: 9.
- Hamón, C. 2017. Identificación de genotipos de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes al déficit hídrico a través de características morfo-fisiológicas y agronómicas. Trabajo de Maestría. Aragua, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 124p.

- Hartanto, L. 2016. Red pepper (*Capsicum* spp.) fruit: A model for the study of secondary metabolite product distribution and its management. AIP Conference Proceedings 1744: 1-7.
- Hasan, M.; T. Haider; S. Chowdhury; F. Howlader; J. Uddin. 2014. Study on morpho-physiological and yield performance of four chilli (*Capsicum* spp.) lines. Journal of Bioscience and Agriculture Research 2: 1-7.
- Hernández, F.; I. López; R. Guevara; E. Rico; V. Ocampo.; G. Herrera; M. González; I. Torres. 2011. Simulación del crecimiento y desarrollo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (México) 2: 385-397.
- Hernández, F. Cultivo del ají dulce. Asistencia técnica agrícola. (13 Sep 2014) [en línea] [http://www.agro-tecnologia-tropical.com/cultivo\\_del\\_aji\\_dulce.html](http://www.agro-tecnologia-tropical.com/cultivo_del_aji_dulce.html)
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. London: Unwin Hyman. 112 p.
- Hunt, R. 2003. Plant growth analysis: individual plants. En: Thomas B., Murphy D., Murray D., eds. Encyclopedia of applied plant sciences. Academic Press, London, 579-588 pp.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2006. Situación institucional de las biotecnologías aplicadas a la agricultura en América Latina y el Caribe. Documento coordinado por el Secretariado Técnico del FORAGRO en el IICA. Costa Rica. (20 Sep 2017) [en línea] [http://www.iica.int/foragro/cd\\_prior/Docs/Biote.pdf](http://www.iica.int/foragro/cd_prior/Docs/Biote.pdf)
- Islam, M.S.; A. Akter; M.Z. Akhi; B. Debnath. 2020. Evaluation of growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum*) varieties under net protected conditions. Ann. Bangladesh Agric. 24: 85-94.
- Ix-Nahuat, J.; L. Latournerie; A. Pech; A. Pérez; J. Tun; G. Ayora; J. Mijangos; G. Castañón; J. López; S. Montes. 2013. Valor agronómico del germoplasma de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en Yucatán, México. Evaluación agronómica de chile dulce criollo (México) 29: 231-242.
- Jaimez, R. 2000. Crecimiento y distribución de la materia seca en ají dulce bajo condiciones de déficit de agua. Agronomía Tropical (Venezuela) 50(2): 189-200.

- Jiménez, B.B. 2012. Genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo condición de invernadero, región Lagunera. Trabajo de Pregrado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. 54p.
- Jiménez, R. 2014. Caracterización morfológica y molecular de ají *Capsicum* sp. en Venezuela. Trabajo de Grado Maestría. Maracay, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 80p.
- Juárez, F. 2018. Uso del medidor de clorofila SPAD 502 Minolta en genotipos de chiles y su relación con el requerimiento bajo agricultura protegida. Trabajo de Pregrado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 57p.
- Kru, G. 1997. Environmental Influences on Development Growth and Yield. En: Wien, H.C., eds. The physiology of vegetable crops. CABI Publishing, London, pp. 101-180.
- Larekeng, S.H.; R. Dermawan; H. Iswoyo; K. Mustari. 2019. RAPD primer screening for amplification on Katokkon pepper from Toraja, South Sulawesi, Indonesia. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 270: 1-7.
- Laurentin, H. 2008. Manejo de poblaciones en especies predominantemente autógamias. En Curso internacional de premejoramiento genético de plantas: Manejo eficaz de los recursos fitogenéticos para la agricultura del mañana, Venezuela. Oct 20-31. 2008. 152p.
- Lee, M.; H. Yoe. 2015. Analysis of environmental stress factors using an artificial growth system and plant fitness optimization. BioMed Research International 2015: 1-6.
- Ligarreto, G. 2013. Componentes de variancia en variables de Crecimiento y fotosíntesis en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16: 87 – 96.
- López, J.; O. Villegas; H. Sotelo; M. Andrade; P. Juárez; E. Martínez. 2017. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8:1747-1758.
- Martínez, N.; R. Castro; M. Pérez; J. Rodríguez. 2023. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental de chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* sendt), bajo invernadero. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar 7:1950-1970.

- Martínez, S.; M. Rodríguez; L. Díaz; E. Quintero; V.D. Gil; G. Rodríguez. 2021. Respuesta fisiológica y productiva de cultivares comerciales de *Phaseolus vulgaris* en un suelo pardo mullido medianamente lavado. *Centro Agrícola* 48: 14-24.
- Mc Caughey-Espinoza, D.M.; Buitimea-Cantúa, G.V.; Buitimea-Cantúa, N.E.; Ayala-Astorga, G.I.; Ochoa-Meza, A. 2020. Propiedades fisicoquímicas y rendimiento de frutos de chile chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* Dunal) cultivados bajo diferentes condiciones de crecimiento. *IDESIA* 38: 77-86.
- Medina, A.; C. Ramis; C. Hamon; J. Manosalva; R. Figueroa; M. Gutiérrez; R. Velásquez. 2017. Diversidad morfológica de 102 accesiones de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en un programa de premejoramiento genético. *Rev. Fac. Agron.* 43: 45-56.
- Melgarejo, L. 2010. Experimentos en Fisiología Vegetal. Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 277 p.
- Méndez, M.; G. Ligarreto; M. Hernández; L. Melgarejo. 2004. Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana (Colombia)* 22: 7-17.
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT). 2011. Series de Estadísticas. Caracas. 450p.
- Mohr, S. 1995. *Plant physiology*. Springer. Velling. Berlin. 629p.
- Monge, J.; E. Elizondo; M. Loría. 2022. Producción de pimiento (*Capsicum annuum*): comparación entre tipos de pimiento. *RIDTEC* 18(1):100-107.
- Monge, J.E.; E. Elizondo; M. Loría. 2022. Correlación y análisis de coeficiente de sendero en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero. *Tecnología en marcha* 35: 128-139.
- Montaño, N. 2000a. Evaluación de tres métodos de producción de plántulas de ají dulce *Capsicum chinense* Jacq en Jusepín, estado Monagas. *Bioagro (Venezuela)* 12: 81-84.

- Montaño, N. 2000b. Efecto de la edad de transplante sobre el rendimiento de tres selecciones de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq). Bioagro (Venezuela) 12: 55-59.
- Montaño, N.; Nuñez, J. 2003. Evaluación del efecto de la edad de transplante sobre el rendimiento en tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinensis* Jacq. En Jusepín, estado Monagas. Revista de la Facultad de Agronomía (Venezuela) 20: 144-155.
- Moreno Pérez, E.C.; R. Mora Aguilar; F. Sánchez del Castillo; V. García Pérez. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura Vol. XVII: 5-18.
- Moses, M.; Umaharan, P. 2012. Genetic Structure and Phylogenetic Relationships of *Capsicum chinense*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. (Trinidad and Tobago) 137: 250-262.
- Niño, V.E. 2018. Evaluación de un biofertilizante a base de *Azospirillum brasilense* para incrementar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. Mitla. Trabajo de Grado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". 101p.
- Nkansah, G.; J. Norman; A. Martey. 2017. Growth, yield and consumer acceptance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as influenced by open field and greenhouse production systems. Journal of Horticulture 4: 216-224.
- Nuez, F.; R. Gil.; J. Costa. 1996. El Cultivo de los Pimientos, Chiles y Ajies. Ediciones Mindiprensa, Madrid. 608p.
- Ocharo, E.; J. Gweyi; N. Korir. 2017. Plant row spacing effect on growth and yield of green pepper (*Capsicum annuum* L.) in Western Kenya. Archives of Current Research International 7: 1-9.
- Olszewska, D.; A. Niklas; L. Nowaczyk. 2017. Estimation of genetic divergence within androgenic regenerants of *Capsicum annuum* L. ATZ1 × *C. frutescens* L. F1 plants using random amplified polymorphic DNA markers. Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology 98: 175-182.

- Orenthung, N.; S. Changkija. 2013. RAPD marker assisted study on genetic diversity of indigenous chilli (*Capsicum* sp.) landraces of Nagaland, India. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 4: 009-013.
- Orozco-Vidal, J.A; P. Yescas-Coronado; M.A. Segura-Castruita; R. Valdez-Cepeda; E. Martínez-Rubín de Celis; J.A. Montemayor-Trejo; M. Fortis-Hernández; P. Preciado-Rangel. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental* □YTON 80: 47-52.
- Ortega, J.L.; E.E. Cajape; R. Vera; W. Narváez; C. Castro. 2022. Selección de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annum* L.) para Puerto La Boca, Ecuador. *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria* 6: 63-72.
- Padilla, F.M.; R. De Souza; M.T. Peña-Fleitas; R. Grasso; M. Gallardo; R.B. Thompson 2019. Influence of time of day on measurement with chlorophyll meters and canopy reflectance sensors of different crop N status. *Precision Agriculture* 20:1087-1106.
- Paran, I.; E. Aftergoot; C. Shifriss. 1998. Variation in *Capsicum annum* revealed by RAPD and AFLP markers. *Euphytica* 99: 167-173.
- Pardey, C. 2008. Caracterización y evaluación de accesiones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira y determinación del modo de herencia de la resistencia a Potyvirus (PepDMV). Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias con énfasis en Mejoramiento Genético Vegetal y Sistemas de Producción de Semillas de Cultivos Tropicales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia – Palmira. 117 p.
- Paredes, J. 2017. Evaluación de cuatro densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de ají charapita (*Capsicum frutescens* L.) en el sector Almendras, provincia de Tocache. Trabajo de Pregrado. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto. 80p.
- Patel, K. 2015. Evaluation of intra species genetic variability of *Capsicum annum* L. through RAPD marker. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education* IJARIIIE 1:762-767.

- Pavlovic N.; J. Zdravkovic; D. Cvikic; M. Zdravkovic; S. Adžic; S. Pavlovic; G. Šurlan. 2012. Characterization of onion genotypes by use of RAPD markers. *Genetika (Serbia)* 44: 269-278.
- Pellegrini, P.; Balatti, G. 2017. Banco de semillas: entre la preservación y la apropiación de recursos naturales. El acceso a los recursos fitogenéticos en la Argentina. *Desarrollo e Medio Ambiente* 4: 105-123.
- Peña, B. F.; P.I. Zenner. 2015. Growth of three color hybrids of sweet paprika under greenhouse conditions. *Agron. Colomb.* 33:139-146.
- Peña, L. 2020. Selección de progenitores de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) para la obtención de híbridos con alto potencial productivo. Trabajo de Doctorado. Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 121p.
- Pérez, D. 2008. Conservación de la diversidad genética vegetal en bancos de germoplasma. En Curso internacional de premejoramiento genético de plantas: Manejo eficaz de los recursos fitogenéticos para la agricultura del mañana, Venezuela. Oct 20-31. 2008. 152p.
- Pérez, E.M. 2002. Características ecofisiológicas de *Capsicum chinense* Jacq bajo efectos de la poda en el Sur del Lago de Maracaibo. Trabajo de Grado. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. 62p.
- Pérez-Castañeda, L.; G. Castañón; M. Ramírez; N. Mayek. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios (México)* 2: 117-128.
- Pezúa, R. 2019. Caracterización y evaluación agromorfológica de diez selecciones de ají escabeche (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) bajo condiciones de La Molina. Trabajo de Pregrado. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 76p.
- Pinto, J. 2015. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de ají dulce (*Capsicum* sp.) en Aguirre, municipio Montalbán, estado Carabobo. Trabajo de Pregrado; Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 57p.
- Pommerening, A.; A. Muszta. 2015. Methods of modelling relative growth rate. *Forest Ecosystems* 2: 1-9.

- Porter, J.; H. Wetzstein; D. Berle; P. Wadl; R. Trigiano. 2012. Molecular analysis for conservation of *Georgia plume*, a threatened endemic, using Random Amplified Polymorphic DNA. Hortscience (United States) 47: 563-569.
- Prasad, M.P. 2014. Molecular characterization and genetic diversity determination of Hibiscus species using RAPD molecular markers. Asian Journal of Plant Science and Research 4: 50-56.
- Pritsch, C. 2001. El pre-mejoramiento y la utilización de los recursos fitogenéticos. En: Berretta, A. & Rivas, M. (eds.), Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Programa cooperativo para el desarrollo tecnológico agroalimentario y agroindustrial del Cono Sur. Montevideo. Uruguay. pp. 111-121.
- Puc, M. 2015. Selección de fuentes parentales para el mejoramiento genético de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tesis de Grado Maestría. Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 51p.
- Quevedo, M.; H. Laurentin. Caracterización fenotípica de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.) venezolano. Agronomía Mesoamericana 31: 729-741.
- Quintero, I.; F. Barraza. 2009. Densidad poblacional y plasticidad fenotípica del ají picante (*Capsicum annum* L.) c.v. Cayene Long Slim. Revista Intropica (Colombia) 4: 55-66.
- Ramírez, L.; A. Castillo; N. Aceves; Á. Carrillo. 2005. Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en chile 'Habanero'. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 11: 93-98.
- Rana, M.; R. Sharma; P. Sharma; S.V. Bhardwaj; M. Sharma. 2014. Estimation of genetic diversity in *Capsicum annum* L. germplasm using PCR-based molecular markers. National Academy Science Letters 37: 295-301.
- Raza, A.; H. Shaukat; Q. Ali.; M. Habib. 2018. Assessment of RAPD markers to analyse the genetic diversity among sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. Turkish Journal of Agriculture, Food science and Technology 6: 107-111.

- Reggeti, J.V. 2018. Efecto de aplicaciones de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre la bioproductividad y fotosíntesis de una accesión de aji dulce *Capsicum* sp. bajo condiciones de umbráculo. Trabajo de Pregrado. Aragua, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 45p.
- Renganathan, P.; C. Ruíz; L. Hernández; D. Prasath; E. Rueda. 2017. Evaluation of genetic diversity in germplasm of paprika (*Capsicum* spp.) using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Journal of Plant Science and Phytopathology* 1: 80-86.
- Renganathan, P.; C. Ruíz; L. Hernández; D. Prasath; E. Rueda. 2017. Evaluation of genetic diversity in germplasm of paprika (*Capsicum* spp.) using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Journal of Plant Science and Phytopathology* 1: 80-86.
- Rentaría, A. M. 2007. Breve revisión de los marcadores moleculares. *Ecología molecular*. 541-556 p.
- Ribeiro da Cunha, A.; I. Katz; A. de Pádua Sousa; R.A. Martinez Uribe. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *IDESIA* 33:97-105.
- Rivera Ojeda, W. B.; C.M. Ortiz Herrera; R.M. García Batista; I. Rodríguez Delgado. 2021. Influencia de la fertilización nitrogenada en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.). *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* 4: 51-60.
- San Juan, J. 2022. Aspectos morfométricos y fisiológicos en chiles (*Capsicum annum* L.) nativos de Oaxaca. Trabajo de Doctorado. Oaxaca, México: Instituto Politécnico Nacional. 69p.
- San Juan, J.; Y. Ortiz; T. Aquino; S. Cruz; P. Pacheco. 2022. Respuesta del chile huacle (*Capsicum annum* L.) al estrés hídrico, bajo invernadero. *Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 19: 1-16.
- Sánchez, M. 2014. Distribución de materia seca en plantas de diferentes poblaciones avanzadas de chile (*Capsicum annum* L.) tipo Marisol en la región Lagunera. Trabajo de Pregrado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. 39p.

- Santos, H. 2019. Fenología y rendimiento de variedades de ají paprika (*Capsicum annum* L.) bajo las condiciones agroecológicas del distrito de Monzón. Trabajo de Pregrado. Huanuco, Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizan Huánuco. 76p.
- Santos, M.; M. Segura; C. Nústez. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 63: 5253-5266.
- Serrote, M.C.L.; L. Reiniger; K. Silva; S. Rabaiolli; C. Stefanel. 2019. Determining the polymorphism information content of a molecular marker. Gene 726: 144 -175.
- Sharma, R.; S. Sharma; S. Kumar. 2018. Pair-wise combinations of RAPD primers for diversity analysis with reference to protein and single primer RAPD in soybean. Annals of Agrarian Science 2018: 1-7.
- Sharma, V. K.; C. S. Semwal; S. P. Uniyal. 2010. Genetic variability and character association analysis in bell pepper (*Capsicum annum* L.). Journal of Horticulture and Forestry 2: 058-065.
- Shibles R. 1987. Crop physiology. Iowa, USA: Iowa State University. 214 p.
- Sildana, J. y M. Baena. 2000. Material de apoyo a la capacitación en Conservación ex situ de Recursos Fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos - IPGRI. Cali, Colombia. 122 p.
- Sinaga, R.; D.I. Hardila; S. Rahayu. 2020. Physiological response of three varieties of cayenne pepper (*Capsicum frutescens*) to decreased water availability. International Journal of Ecophysiology 2: 129 – 136.
- Sokal, R.R.; F.J. Rohlf. 1962. The comparison of dendrograms by objective methods. Taxon, 33-40.
- Statistix 9. 2013. User's manual. Analytical Software. Tallahassee, EEUU. 463p.
- Statistix.2009. Statistix Program.Ver. 8.0. Analytical Software.Tallahassee, EEUU.

- Subba, S.; O. Aniel; T. Rupavathi. 2014. Evaluation of genetic diversity in 21 cultivars of chili pepper (*Capsicum annuum*L.) using isozyme markers. *European Journal of Experimental Biology*. (India) 4: 44-49.
- Taiz, L.; E. Zeiger.2006. *Plant physiology*. Sunderland, Massachusetts. 764 p.
- Trujillo, M. 2021. Densidad de siembra en la producción y calidad de ají escabeche (*Capsicum baccatum* L. var. *pendulum*), en Cañete. Trabajo de Pregrado. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 107p.
- Vásquez, I.; E. de la Cruz; R.E. Cruz Solís; J. Santos. 2022. Resultados en la siembra del ají (*Capsicum annuum*) bajo sistemas biointensivo y convencional en Barranca, La Vega, República Dominicana en busca de una opción sustentable. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones* 5: 39-76.
- Vásquez, J.L. 2005. Efectos térmicos y fotométricos de 7 películas fotoselectivas sobre el crecimiento y rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de Grado. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. 104p.
- Vega, R.; T.C.S. Méndez; W.M. Rodríguez. 2012. Análisis del crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la metodología del análisis funcional. *Agron. Costarric.* 36: 29-46.
- Vegas, A.; A. Miliani; D. Rodríguez; A. Zambrano; J. Villardón; J. Demey. 2013. Diversidad genética de la colección venezolana de la familia Caricáceas. *Interciencia*. (Venezuela) 38: 171-178.
- Verangen, A.M.; J.H. Wilson; E.J. Britten. 1963. Plant production in relation to folige illumination. *Ann Bot.* 27: 627-640.
- Villar, R.A.; R.J. Ruiz; J.L. Quero; H. Poorter; F. Valladares; T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares, F., ed. *Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Egraf. Madrid, España, pp: 191-227.

- Villota-Cerón, D.; M.L. Bonilla-Betancourt; H. Carmen-Carrillo; J. Jaramillo-Vásquez; M.A. García-Dávila. Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia. *Acta Agronómica (Colombia)* 61: 16-26.
- Widuri, L.; B. Lakitan; J. Sakagami; S. Yabuta; K. Kartika; E. Siaga. 2020. Short-term drought exposure decelerated growth and photosynthetic activities in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) *Annals of Agricultural Sciences* 65: 149–158.
- Williams, J.; A. Kubelik; K. Livak; J. Rafalski; S. Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research* 18: 6531-6535.
- Wuyts, N.; S. Dhondt; D. Inzé. 2015. Measurement of plant growth in view of an integrative analysis of regulatory networks. *Current Opinion in Plant Biology* 25: 90-97.
- Zúñiga, A.; A. Carrodegua. 2022. Evaluación de poblaciones híbridas de chile (*Capsicum annuum*) en Cartago, Costa Rica. *Repertorio Científico* 25: 10-19.
- Zúñiga, N. 2021. Evaluación agromorfológica de líneas avanzadas de ají picante *Capsicum* spp. para la agroindustria. Trabajo de Grado Maestría. Palmira, Colombia; Universidad Nacional de Colombia. 118p.