



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

POTENCIAL AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTO DE DOS FORMAS DE *Jaltomata procumbens* (CAV.) J. L. GENTRY, ERGUIDA Y DECUMBENTE, DEL ESTADO DE TLAXCALA

IGNACIO DARÍO FLORES SÁNCHEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS

La presente tesis titulada: “**POTENCIAL AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTO DE DOS FORMAS DE *Jaltomata procumbens* (CAV.) J. L. GENTRY, ERGUIDA Y DECUMBENTE, DEL ESTADO DE TLAXCALA**” realizada por el estudiante: “**Ignacio Darío Flores Sánchez**” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)

FIRMA

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR (A)

FIRMA

DR. GABRIEL ALCÁNTAR GONZÁLEZ

ASESOR (A)

FIRMA

DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR (A)

FIRMA

DR. RAMÓN MARCOS SOTO HERNÁNDEZ

ASESOR (A)

FIRMA

DR. EBANDRO USCANGA MORTERA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2022

**POTENCIAL AGRONÓMICO Y CALIDAD DE FRUTO DE DOS FORMAS DE
Jaltomata procumbens (CAV.) J. L. GENTRY, ERGUIDA Y DECUMBENTE, DEL
ESTADO DE TLAXCALA**

**Ignacio Darío Flores Sánchez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

RESUMEN

La especie *Jaltomata procumbens*, con sus dos poblaciones, erguida y decumbente, de uso alimenticio y semidomesticada, forma parte de la importante riqueza biológica de México, pero se carece de información que limita su aprovechamiento con fines agrícolas, por la poca atención puesta en programas de investigación. Se determinó el potencial de ambas poblaciones para su uso con fines agronómicos y calidad de fruto, en condiciones de invernadero e hidroponía. Se evaluó germinación, caracteres agronómicos y fenológicos, calidad de fruto, metabolitos secundarios y absorción nutrimental. Los tratamientos en la primera evaluación incluyeron: dos poblaciones (erguida y decumbente), dos tiempos de imbibición (4 y 6 días), dos concentraciones de solución de KNO_3 (0.1 y 0.2%) y agua destilada como control; en las siguientes cuatro: dos poblaciones, tres niveles de conductividad eléctrica (CE): 1, 2 y 3 dS m^{-1} y dos niveles de poda (con y sin poda); en la sexta evaluación: dos poblaciones, tres niveles de CE: 1, 2 y 3 dS m^{-1} con manejo de poda. Se evaluaron diversas variables en semilla, planta y fruto. Se observó el efecto positivo del KNO_3 y 4 días de imbibición, obteniendo 93-100 % de germinación. Las condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en altura de planta, diámetro de tallo, tamaño y peso de fruto, contenido de sólidos solubles totales y palatabilidad de fruto. La población erguida fue más precoz que la decumbente, pero se observó variabilidad dentro y entre poblaciones por poda y CE. Hubo variabilidad en la concentración de nutrimentos, entre poblaciones y etapas fenológicas, la erguida absorbió más N, P y Mo, y la decumbente Ca, B, Fe y Zn. La CE y manejo con poda influyeron los metabolitos secundarios en ambas poblaciones. La población erguida sobresalió en ácido siríngico, rutina y carnosol, y la población decumbente en ácido gálico, rosmarínico y morina.

Palabras clave: *Jaltomata procumbens*; recursos nativos; especies semidomesticadas; agricultura protegida; hidroponía; latencia; fenología; curvas de absorción de nutrientes; calidad de fruto; metabolitos secundarios.

AGRONOMIC POTENTIAL AND FRUIT QUALITY OF TWO *Jaltomata procumbens* (CAV.) J. L. GENTRY FORMS, ERECT AND DECUMBENT, FROM THE STATE OF TLAXCALA

**Ignacio Darío Flores Sánchez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

ABSTRACT

The *Jaltomata procumbens* species, with its two populations, erect and decumbent, used as food and semidomesticated, belong to the important biological richness of Mexico, but a lack of information limits their use for agronomical purposes due to the scarce attention given in research programs. The potential of both populations for its agronomical use and fruit quality, in greenhouse and hydroponics, were determined. Germination, agronomical and phenological characters, fruit quality, secondary metabolites and nutrient uptake, were evaluated. The treatments in the first evaluation included: two populations (erect and decumbent), two seed soaking times (4 and 6 days), two concentrations of KNO₃ solution (0.1 and 0.2%) and distilled water as control; the next four evaluations included: two populations, three electrical conductivity levels (EC): 1, 2, and 3 dS m⁻¹ and two pruning levels (with and without pruning); the sixth evaluation consisted of: two populations, three EC levels: 1, 2 y 3 dS m⁻¹ with pruning management. Several variables on seed, plant and fruit, were evaluated. The positive effect of KNO₃ and 4 days of soaking was observed, reaching 93-100 % of germination. For both populations, the greenhouse and hydroponics conditions promoted development in plant height, stem diameter, size and weight of fruit, total soluble solids and fruit palatability. The erect population was earlier than decumbent, but a variability within and between populations was observed due to EC and pruning. Variability between populations and phenological stages in the nutrient concentration was observed, the erect absorbed more N, P, and Mo, and the decumbent more Ca, B, Fe, and Zn. The EC and pruning management influenced the secondary metabolites in both populations. The erect stood out in syringic acid, rutin and carnosol, and the decumbent in gallic and rosmarinic acids, and morin.

Key words: *Jaltomata procumbens*; native plant resources; semi-domesticated species; protected agriculture; hydroponics; seed dormancy; phenology; nutrient absorption curves; fruit quality; secondary metabolites.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, por el financiamiento y apoyo educativo para realizar mis estudios de doctorado.

Al postgrado de Edafología por el apoyo otorgado en el uso de infraestructura y recursos para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado bajo su guía, por sus consejos y enseñanzas, y por darme la confianza para realizar este trabajo de investigación.

A los integrantes de mi consejo particular Dr. Ernesto Gabriel Alcántar González, Dr. Prometeo Sánchez García, Dr. Ramón Marcos Soto Hernández y Dr. Ebandro Uscanga Mortera, por sus enseñanzas, apoyo y motivación durante mis estudios de postgrado.

A la Dra. Libia I. Trejo Téllez, por sus enseñanzas y apoyo incondicional para la realización de este trabajo de investigación.

A la Dra. Guadalupe Peralta, al M.C. Antonio García, y a todas las personas que en su momento me brindaron su apoyo y la oportunidad de aprender a su lado durante mis estudios de postgrado.

A los productores agrícolas tradicionales de Ixtenco, Tlaxcala, poseedores de valiosos recursos naturales, en especial a Don Francisco Tzoni Flores, quien me dio a conocer al Apipisco o Jaltomate, *Jaltomata procumbens*.

A la Dra. Patricia Fernández Ordóñez, directora de la Universidad del Altiplano de Tlaxcala, quien en su momento me brindó el apoyo para realizar el trabajo que me llevó a conocer a la especie *J. procumbens* y que derivó en este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mi madre Paty y hermanas, Wendy y Cony, a quienes admiro y respeto mucho, gracias por sus valiosos consejos y por siempre brindarme su apoyo en cada proyecto.

A mis queridos sobrinos Lucia, Hamza y Aayan, de quienes he aprendido mucho y me han dado excelentes momentos.

A la memoria de mi padre Darío Flores Montalvo.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
<i>Jaltomata procumbens</i>	5
Latencia	6
Agricultura de ambiente controlado	9
Fenología	11
Caracteres agronómicos	11
Calidad de fruto	13
Firmeza.....	13
Tamaño de fruto.....	14
Color de fruto.....	14
Sólidos solubles totales.....	15
Acidez titulable.....	15
Relación sólidos solubles totales (SST) / acidez titulable (AT).....	16
Absorción nutrimental	16
Metabolitos secundarios	17
CAPÍTULO I. BREAKING SEED DORMANCY OF <i>Jaltomata procumbens</i> (CAV.) J.	
L. GENTRY SEEDS WITH THE USE OF KNO₃	20
1.1 ABSTRACT	20
1.2 RESUMEN	20
1.3 INTRODUCTION	21
1.4 MATERIALS AND METHODS	23
1.4.1 Genetic Material.....	23
1.4.2 Experiment Management.....	24

1.4.3 Experimental Design	24
1.4.4 Variables Registered and Generated	24
1.4.5 Statistical Analysis	25
1.5 RESULTS.....	25
1.5.1 Effects Analysis on the Germination.....	25
1.5.2 Germination Model	27
1.5.3 Germination Variables.....	28
1.5.4 Effect of Population and Solution on Germination	29
1.5.5 Effect of Population and Soaking on Seed Germination.....	30
1.6 DISCUSSION	31
1.7 CONCLUSIONS	35
CAPÍTULO II. CARACTERES AGRONÓMICOS DE DOS POBLACIONES DE	
<i>Jaltomata procumbens</i> (CAV.) J. L. GENTRY.....	36
2.1 RESUMEN.....	36
2.2 ABSTRACT	36
2.3 INTRODUCCIÓN.....	37
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
2.4.1 Material genético	39
2.4.2 Manejo de experimento	39
2.4.3 Diseño experimental.....	40
2.4.4 Variables evaluadas	40
2.4.5 Análisis estadístico	42
2.5 RESULTADOS.....	42
2.6 DISCUSIÓN.....	47
2.7 CONCLUSIONES.....	52
CAPÍTULO III. CARACTERES FENOLÓGICOS DE DOS POBLACIONES DE	
<i>Jaltomata procumbens</i> (CAV.) J. L. GENTRY.....	54
3.1 RESUMEN.....	54
3.2 ABSTRACT	54
3.3 INTRODUCCIÓN.....	55
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	57

3.4.1 Material genético	57
3.4.2 Manejo de experimento	57
3.4.3 Diseño experimental.....	58
3.4.4 Variables evaluadas	58
3.4.5 Análisis estadístico	59
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.6 CONCLUSIONES.....	64
CAPÍTULO IV. ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DE DOS POBLACIONES DE	
<i>Jaltomata procumbens</i> (CAV.) J. L. GENTRY.....	
4.1 RESUMEN.....	65
4.2 ABSTRACT	66
4.3 INTRODUCCIÓN.....	66
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
4.4.1 Manejo del experimento.....	68
4.4.2 Diseño experimental.....	69
4.4.3 Variables evaluadas	69
4.4.4 Análisis estadístico	70
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4.5.1 Macronutrientes.....	70
4.5.2 Micronutrientes	74
4.5.3 Conductividad eléctrica.....	77
4.5.4 Combinación población x conductividad eléctrica.....	79
4.5.5 Orden de absorción de macronutrientes y micronutrientes	83
4.5.6 Materia seca total.....	84
4.5.7 Orden de acumulación de materia seca total por estructura vegetal	86
4.6 CONCLUSIONES.....	87
CAPÍTULO V. CALIDAD DE FRUTO DE DOS POBLACIONES DE <i>Jaltomata</i>	
<i>procumbens</i> (CAV.) J.L. GENTRY.....	
5.1 RESUMEN.....	88
5.2 ABSTRACT	88
5.3 INTRODUCCIÓN.....	89

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS	90
5.4.1 Material genético	90
5.4.2 Manejo de experimento	91
5.4.3 Diseño experimental.....	92
5.4.4 Variables evaluadas	92
5.4.5 Análisis estadístico	93
5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	93
5.5.1 Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)	94
5.5.2 Peso de fruto	95
5.5.3 Porcentaje de sólidos solubles totales y acidez titulable	96
5.5.4 Relación sólidos solubles totales y acidez titulable.....	98
5.5.5 pH	100
5.5.6 Color	100
5.5.7 Población x Conductividad eléctrica (CE)	101
5.5.8 Conductividad eléctrica (CE) x Poda	102
5.5.9 Combinación Población x Poda.....	102
5.6 CONCLUSIONES	103
CAPÍTULO VI. EFECTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PODA EN EL	
CONTENIDO DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE FRUTOS DE <i>Jaltomata</i>	
<i>procumbens</i> (CAV.) J. L. GENTRY	
	104
6.1 RESUMEN	104
6.2 ABSTRACT	104
6.3 INTRODUCCIÓN	105
6.4 MATERIALES Y MÉTODOS	106
6.4.1 Manejo de experimento	107
6.4.2 Diseño experimental.....	107
6.4.3 Toma y preparación de muestras	108
6.4.4 Extracción.....	108
6.4.5 Identificación de metabolitos secundarios por HPLC	108
6.4.6 Análisis estadístico	109
6.5 RESULTADOS	109

6.5.1 Ácidos fenólicos	110
6.5.1.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda	111
6.5.1.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)	111
6.5.1.3 Combinación población (Pob) x poda	112
6.5.2 Flavonoides.....	113
6.5.2.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda	113
6.5.2.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)	114
6.5.2.3 Combinación población (Pob) x poda	115
6.5.3 Terpenoides	115
6.5.3.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda	116
6.5.3.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)	116
6.5.3.3 Combinación población (Pob) x poda	117
6.6 DISCUSIÓN.....	117
6.7 CONCLUSIONES.....	121
DISCUSIÓN GENERAL	123
CONCLUSIONES GENERALES.....	129
LITERATURA CITADA.....	132
ANEXOS.....	156

LISTA DE CUADROS

Table 1.1. Effects analysis on the germination of two <i>J. procumbens</i> populations.	26
Table 1.2. Analysis of maximum likelihood estimates on the germination of two <i>J. procumbens</i> populations.	27
Table 1.3. Mean values of germination variables of two <i>J. procumbens</i> populations.	29
Cuadro 2.1. Comparación de medias para caracteres agronómicos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	43
Cuadro 3.1. Comparación de medias de caracteres fenológicos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	59
Cuadro 4.1. Comparación de medias de la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo y Zn, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	78
Cuadro 4.2. Comparación de medias de materia seca total de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	85
Cuadro 5.1. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica (CE) y poda en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	94
Cuadro 5.2. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda en el peso de fruto de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	96
Cuadro 5.3. Porcentaje de sólidos solubles y de acidez titulable de frutos, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	97
Cuadro 5.4. Efecto de la poda en los sólidos solubles totales (% SST) y de acidez titulable (% AT), de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	98
Cuadro 5.5. Efecto de población, conductividad eléctrica (CE) y poda en el color de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	101
Cuadro 5.6. Efecto de las combinaciones Población (Pob) x Conductividad eléctrica (CE), Pob x poda y CE x poda en diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (% SST), pH y relación SST / AT, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	102
Cuadro 6.1. Estándares de referencia de ácidos fenólicos, flavonoides y terpenoides.....	109
Cuadro 6.2. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	111

Cuadro 6.3. Efecto de la combinación población (Pob) x CE en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	112
Cuadro 6.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	112
Cuadro 6.5. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	114
Cuadro 6.6. Efecto de la población en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda.....	115
Cuadro 6.7. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda.....	116
Cuadro 6.8. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda	117
Cuadro 6.9. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda	117

LISTA DE FIGURAS

Figure 1.1. Cumulative germination of two <i>J. procumbens</i> populations.	26
Figure 1.2. Germination probability of two <i>J. procumbens</i> populations.	28
Figure 1.3. Effect of Population × Solution combination on days to germination, energy period and germination rate of two <i>J. procumbens</i> populations.	30
Figure 1.4. Effect of Population × Soaking combination on days to germination, energy period and germination rate of two <i>J. procumbens</i> populations.	31
Figure 1.5. Effect of Solution × Soaking combination on days to germination, energy period and germination rate of two <i>J. procumbens</i> populations.	32
Figura 2.1. a) Ramificación de tallos en la población erguida de <i>J. procumbens</i> , con tratamiento con poda.....	44
Figura 2.2. Efecto de la combinación Población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	45
Figura 2.3. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	46
Figura 2.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	47
Figura 3.1. Efecto de la combinación Población (Pob) x Conductividad Eléctrica (CE) en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	61
Figura 3.2. Efecto de la combinación Población (Pob) x Poda en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	62
Figura 3.3. Efecto de la combinación Conductividad Eléctrica (CE) x Poda en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	64
Figura 4.1. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	72
Figura 4.2. Absorción de B, Fe, Mn, Mo y Zn en dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	75
Figura 4.3. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de K, P, Ca, Mg y Fe, en etapa vegetativa de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	80

Figura 4.4. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de N, P, Mg, Bo, Mn y Mo, en etapa de floración de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	81
Figura 4.5. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de K, P, Ca, Mg, B, Zn y lecturas SPAD, en etapa de fructificación de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	82
Figura 4.6. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de N, K, Ca, Mg, Mn y Zn, en etapa de cosecha de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	83
Figura 4.7. Orden del nivel de absorción de macronutrientes y micronutrientes de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	84
Figura 4.8. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la materia seca total de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	85
Figura 4.9. Dinámica de acumulación de materia seca de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	86
Figura 4.10. Acumulación de materia seca por hoja (H), tallo (T), raíz (R) y estructuras reproductivas (ER) en etapa vegetativa (Veg), floración (Flo), fructificación (Fruc) y cosecha (Cos) de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	87
Figura 5.1. Efecto de la conductividad eléctrica en sólidos solubles totales (SST %) y de acidez titulable (AT %) de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	98
Figura 5.2. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda, en la relación SST / AT, de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> .	99
Figura 5.3. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda, en el pH de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	100
Figura 6.1. Concentración de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda.	110
Figura 6.2. Contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i> , cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda	113
Figura 6.3. Efecto de la combinación población (Pob) x CE en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de <i>J. procumbens</i>	114

Figura 6.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens* 115

INTRODUCCIÓN GENERAL

La especie *Jaltomata procumbens*, forma parte de las siete especies del género *Jaltomata* que se encuentran en México, caracterizadas por ser herbáceas con frutos color púrpura o negros, principalmente, lo que lo hace junto con Suramérica, uno de los centros de diversidad del género *Jaltomata* (Mione *et al.*, 2015a).

Es la especie más ampliamente distribuida en el país, presenta un crecimiento erguido, fruto azul-negrusco (Mione, 2017), se considera semidomesticada por lo que se puede encontrar como arvense o ruderal (Mione y Anderson, 2017; Williams, 1985), vinculada al sistema tradicional de producción agrícola, en donde también, es posible encontrar como arvense en algunas regiones del país una población distinta de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro (Coe, 1997). De ambas poblaciones, se recolectan sus frutos y se consumen como alimento en fresco o a través de algunas preparaciones.

Estas poblaciones, pueden considerarse dentro de las especies subutilizadas o subvaloradas, importantes en los sistemas de producción y consumo locales, cuyo aprovechamiento se basa en el conocimiento local y donde la mayoría, no son consideradas en programas de investigación (Linares y Bye, 2015) o bien, son pocos los estudios realizados sobre estas especies, condición que lleva a una escasez de información debido a la poca atención que se les ha puesto a estos recursos (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019), importantes no sólo por ser parte de la riqueza biológica de México, sino también, porque representan una alternativa viable para atender uno de los problemas que enfrenta la población actual, que es la malnutrición, generada por una reducida diversidad de alimentos disponibles (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019), lo que ha llevado a que desde la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se establezca el segundo objetivo del Desarrollo Sostenible, que busca acabar con el hambre, alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición (ONU, 2014).

La importancia de estos recursos resalta por su contenido nutrimental (Mera-Ovando *et al.*, 2003) y por el de metabolitos secundarios, benéficos para la salud humana (Alam *et al.*, 2015; Juárez-López *et al.*, 2014), de los cuales se han reportado genotipos sobresalientes en comparación con cultivos mejorados de importancia comercial.

Es por esto, que es importante el estudio de estas especies, silvestres o semidomesticadas, no sólo para su conservación sino también para su domesticación (Sarukhan *et al.*, 2017), considerando esta última como una estrategia de diversificación, para incrementar la resiliencia de la seguridad alimentaria y de nutrientes, y de los ecosistemas agrícolas (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019).

La agricultura de ambiente controlado, donde se emplean tecnología como invernaderos, el cultivo en sustratos e hidroponía (Bethke y Lieth, 2016), permite evaluar recursos fitogenéticos para su uso con fines agrícolas. Con los invernaderos se busca controlar factores como temperatura, humedad relativa o niveles de CO₂ (Singh *et al.*, 2015); con los sustratos, es posible controlar la concentración de nutrientes en la zona radicular (Silber y Bar-Tal, 2008); mientras que con la hidroponía, cultivo de plantas en solución nutritiva con o sin el uso de un medio inerte o sustrato (Sharma *et al.*, 2018), se suministran todos los nutrientes que requiere el cultivo (Nguyen *et al.*, 2016). Esto facilita el estudio de los efectos del cambio de factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de la planta, factores diferentes a los de su ambiente natural (Both *et al.*, 2015; Bustamante *et al.*, 2016), ya que para cada especie va a haber condiciones de cultivo específicas para un óptimo desarrollo.

En la literatura disponible de estudios realizados sobre *J. procumbens*, que permitan su estudio o uso con fines agrícolas, se reportan dos trabajos para promover la germinación de la semilla en la población erguida, debido al problema de latencia que presenta, lo que evita una germinación temprana y obtener plántula de manera uniforme, condición no deseable con fines de aprovechamiento. En estos trabajos se utilizaron tratamientos como ácido giberélico, uso de calor o fermentación de fruto, obteniendo porcentajes de germinación entre el 61 y 87 % (Saldívar-Iglesias *et al.*, 2010; Tovar, 2005); no obstante, se requieren más estudios principalmente considerando ambas poblaciones, para el empleo de sustancias usadas para romper la latencia de su semilla, que sean más accesibles en cuanto a costos y que de esta manera faciliten su uso de manera generalizada. Por otro lado, se han llevado a cabo evaluaciones en fruto, reportando un importante valor nutritivo en ambas poblaciones (Mera-Ovando *et al.*, 2003; Williams, 1985) y de componentes benéficos y actividad antioxidante en la población erguida (Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016). Sin embargo, falta documentar la respuesta cuando son sometidas a condiciones de cultivo (Bian *et al.*, 2013).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar el potencial de dos poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente, para su uso con fines agronómicos y la calidad de fruto generada, en condiciones de invernadero e hidroponía.

Para esto, se dio inicio con un trabajo realizado para romper la latencia de la semilla, problema presentado en ambas poblaciones, ya que un requisito importante para el estudio y aprovechamiento de una especie con fines agrícolas, es que ésta no presente altos niveles de latencia (Tuan *et al.*, 2019), trabajo que se presenta en el primer capítulo del documento.

En el segundo y tercer capítulo, se muestran la evaluación de caracteres agronómicos y fenológicos, importantes para determinar la viabilidad de una especie para su aprovechamiento agronómico y establecer, las condiciones adecuadas para que el genotipo exprese su máximo potencial, reflejado en rendimiento y calidad de fruto, ya que cada genotipo puede tener una respuesta distinta a diferentes ambientes de cultivo (Córdoba *et al.*, 2018).

Para el cuarto capítulo, se aborda la evaluación realizada sobre la dinámica de absorción nutrimental de ambas poblaciones, importante para identificar el periodo de máxima absorción y planificar la fertilización, ya que la disponibilidad y suministro de nutrientes balanceado es el aspecto más importante, porque un exceso o deficiencia de nutrientes afecta el crecimiento potencial de las plantas (Lee *et al.*, 2017).

Finalmente, en los capítulos quinto y sexto, se muestran los resultados de la evaluación de calidad de fruto y el contenido de metabolitos secundarios, atributos importantes ya que de éstos dependerá la aceptación del producto obtenido por parte del consumidor (Wiesler, 2012).

REVISIÓN DE LITERATURA

México cuenta con un importante capital natural, reflejado en la amplia diversidad biológica que se alberga en sus diferentes ecosistemas, que pueden permanecer naturales o ser modificados y manejados por grupos culturales, de los cuales recibimos bienes y servicios; dentro de este capital, se encuentran importantes recursos genéticos de especies de plantas endémicas, silvestres o cultivadas (Sarukhán *et al.*, 2017).

Dentro de dichos recursos, está una parte importante de especies subutilizadas o subvaloradas, en estado silvestre o en etapa intermedia de domesticación (semidomesticada), vinculadas al sistema de producción agrícola tradicional, de las cuales se aprovechan partes importantes con fines alimenticios, como los frutos. Estas presentan características que las distinguen al ser importantes en los sistemas de producción y consumo locales, están adaptadas a nichos ecológicos y zonas marginales, sus poblaciones están restringidas a hábitats específicos, su aprovechamiento se basa en el conocimiento local y, la mayoría no son consideradas en programas de investigación (Linares y Bye, 2015) o bien, son pocos los estudios realizados sobre estas especies. Estos últimos aspectos, lleva a una escasez de información sobre su caracterización, cultivo y evaluación para el mejoramiento, debido a la poca atención puesta en estos recursos (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019).

El estudio de estas especies, silvestres o semidomesticadas, es importante no sólo con fines de conservación, sino también, para su domesticación (Sarukhan *et al.*, 2017), considerando actualmente la domesticación como una estrategia de diversificación, con el objetivo de incrementar la resiliencia de la seguridad alimentaria y de nutrientes, y de los ecosistemas agrícolas (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019), ya que forman parte de la diversidad genética que se encuentra en nuestro país (Sarukhan *et al.*, 2017).

Dicha estrategia de diversificación responde a uno de los problemas que enfrenta la población actual, que es la malnutrición, generada por una reducida diversidad de alimentos disponibles (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019), lo que ha llevado a que se establezca desde la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el segundo objetivo del Desarrollo Sostenible, que plantea acabar con el hambre, lograr una seguridad alimentaria y mejorar la nutrición (ONU, 2014). Por lo que se considera aprovechar la biodiversidad para atender este problema (World

Health Organization, 2020), considerando necesario transformar los sistemas agrícolas y alimenticios actuales, con una mayor diversidad en todos los niveles (Li *et al.*, 2018a), donde las especies silvestres y semidomesticadas se consideran viables para contribuir a la solución de este problema, principalmente aquellas plantas que cumplen con los criterios de ser directamente comestibles por el hombre, de alto valor nutricional, que no requieren de procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización, y que de preferencia sean nativas de México, criterios que se consideran importantes para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (J. Sarukhán K., 2020, comunicación personal). Dentro de estas especies, que cumplen con estos criterios, se encuentra *Jaltomata procumbens*.

Jaltomata procumbens

Esta especie pertenece al género *Jaltomata*, que se encuentra dentro de la familia Solanaceae (Gebhardt, 2016; Mione *et al.*, 2015).

El género se compone de aproximadamente 70 especies herbáceas y arbustivas, con frutos (bayas) comestibles (Mione *et al.*, 2015). Se distribuye desde el suroeste de los Estados Unidos, México, América Central y Suramérica; así como también, en Haití, Cuba, Jamaica, República Dominicana, Puerto Rico y en las Islas Galápagos; se desarrolla desde altitudes cercanas al nivel del mar hasta por arriba de los 4100 m (Davis y Bye, 1981; Mione *et al.*, 2007; Mione, 2018, comentario personal). Se reconocen dos centros de diversidad, Suramérica y México, con alrededor de 63 y 7 especies, respectivamente (Mione *et al.*, 2015). Las especies suramericanas se distinguen de las de América Central y México, por su tipo de crecimiento y color de fruto. Las primeras, casi todas son leñosas y la mayoría producen frutos rojos y anaranjados; por el contrario, las segundas son herbáceas y producen frutos color púrpura o negros (Mione *et al.*, 2015b).

Para Norte y Centroamérica, se reportan nueve especies de *Jaltomata*: *J. bohiana* Mione y Spooner (Mione y Spooner, 2010); *J. chihuahuensis* (Bitter) Mione y Bye (Mione y Bye, 1996); *J. grandiflora* (Robinson y Greenmann) (D'Arcy *et al.*, 1992); *J. repandidentata* (Dunal) Hunz. (Powell, 2007); *J. procumbens* (Cav.) J. L. Gentry (Davis y Bye, 1981); *J. confinis* (C. V. Morton) J. L. Gentry (Mione, 2018, comentario personal); *J. darcyana* Mione (Mione y Yacher, 2005); *J. oaxaca* y *J. chiapensis* (Mione, 2018, comentario personal, datos no publicados). De estas, sólo *J. confinis* y *J. darcyana* no se han reportado para México.

De las especies reportadas para el país, *J. procumbens*, es la más ampliamente distribuida. Se encuentra en los estados de Chiapas, Chihuahua, Colima, Ciudad de México, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tlaxcala y Veracruz (Villaseñor y Espinosa, 1998, citados por Vibrans, 2009). Es una planta semidomesticada, de crecimiento erguido y fruto azul-negruzco (Mione, 2017). Esta cuenta con una población distinta en regiones específicas de México, de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro. La primera se encuentra como ruderal, y en las orillas o dentro de sitios cultivados (arvense) (Casas *et al.*, 2001; Mione y Anderson, 2017); la segunda, como arvense (Coe, 1997). Los frutos de ambas poblaciones se recolectan y se consumen como alimento en fresco o a través de algunas preparaciones. Se les reporta importantes propiedades nutrimentales y de componentes benéficos (Mera-Ovando *et al.*, 2003; Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016; Williams, 1985).

No obstante, la importancia de la especie al cumplir con los criterios antes mencionados, debido al poco interés sobre estos recursos, se carece de información sobre características que permitan determinar su comportamiento bajo condiciones de cultivo; principalmente, expresado en la calidad del fruto aprovechable, característica importante y que hasta el momento ha sido casi totalmente ignorada en programas de mejoramiento (Alseekh *et al.*, 2018).

Latencia

La latencia, es un mecanismo que se define como la incapacidad de semillas viables para germinar en condiciones ambientales favorables, la cual en cierto grado es deseable en cultivos agrícolas, ya que previene la germinación precoz o antes de la cosecha, por otro lado, un alto nivel de latencia es indeseable (Tuan *et al.*, 2019).

En algunas especies silvestres o en proceso de domesticación, la semilla presenta mecanismos de latencia que les permite persistir a través del tiempo en condiciones desfavorables, siendo una limitante cuando se quiere aprovechar una especie bajo condiciones de cultivo, ya que una germinación y crecimiento rápido son requeridos (Quintero *et al.*, 2018), porque de esta manera se puede obtener una germinación temprana y un desarrollo de plántula uniforme, lo que impacta de manera positiva en el rendimiento, calidad e ingresos económicos (Mirmazloum *et al.*, 2020).

En general existen dos tipos de latencia: endógena y exógena. En la primera, características del embrión previenen la germinación mientras que, en la segunda, características químicas o estructurales lo dificultan. Por lo tanto, la latencia se clasifica a su vez en cinco clases tomando en cuenta aspectos físicos, morfológicos, fisiológicos y la combinación de éstas, teniendo así: latencia fisiológica, morfológica, morfo-fisiológica, física y fisiológica más física (Baskin y Baskin, 2014). De éstas, la latencia fisiológica es la más común en muchas especies de plantas, la cual se divide en latencia profunda, intermedia y no profunda (Tuan *et al.*, 2019), y a su vez, la latencia fisiológica no profunda es la que presentan la mayoría de las semillas (Baskin y Baskin, 2014). Por lo anterior, diferentes técnicas se utilizan para promover la germinación como son: la escarificación química, física, la estratificación, o su combinación; empleando sustancias como ácido giberélico, ácido sulfúrico y nitrato de potasio.

Ácido giberélico y nitrato de potasio

Las giberelinas son reguladores esenciales en las plantas, importantes en diferentes procesos como la germinación, elongación del tallo e inducción floral (Cornea-Cipcigan *et al.*, 2020). En la germinación actúan al inducir la síntesis de α -amilasa en la capa de aleurona, la cual secreta enzimas hidrolíticas en el endospermo que se encargan de degradar el almidón, liberando los azúcares que son utilizados por el embrión (Dotto y Silva, 2017); por lo que el ácido giberélico, regulador natural de la planta, tiene una aplicación importante en la agricultura en la producción de plántula (Cornea-Cipcigan *et al.*, 2020), al aplicarse a través del acondicionamiento hormonal, una de las técnicas de acondicionamiento de la semilla para promover la germinación (Ma *et al.*, 2018). El efecto positivo del ácido giberélico para promover la germinación, se ha reportado en especies como *Leymus chinensis* y *Beta vulgaris* (Ma *et al.*, 2018; Dotto y Silva, 2017). En *Panax ginseng*, se ha utilizado en combinación con tratamiento de temperatura alternante, reportando un incremento de la tasa de germinación cuando se utiliza ácido giberélico sólo y, potencializando dicha tasa en combinación con temperatura (Lee *et al.*, 2016).

El KNO_3 , aplicado a través del osmoacondicionamiento, técnica empleada para acondicionar la semilla (Ma *et al.*, 2018), es conocido como estimulador de la germinación para una amplia variedad de especies vegetales; aunque también, en algunas, puede tener el efecto contrario (Duermeier *et al.*, 2018). Con el osmoacondicionamiento se hidrata la semilla bajo condiciones controladas, entre el potencial hídrico de una solución de concentración determinada y el interior de la semilla, lo

que activa el metabolismo pero sin que emerja la radícula y posteriormente, al ser retirada la semilla de la solución y colocada en un ambiente adecuado se reactiva el proceso, y acelera la germinación (Mirmazloum *et al.*, 2020; Moreno y Jiménez, 2013). La efectividad de esta técnica, depende del potencial hídrico de la solución y la duración del tratamiento (Quintero *et al.*, 2018).

Se reporta que el NO_3 disminuye los requerimientos de luz de la semilla, al aumentar su sensibilidad a dicho factor (Bian *et al.*, 2013); pero, no se restringe su efecto en la germinación fotoblástica, sino también, en condiciones de obscuridad para algunas especies (Duermeyer *et al.*, 2018). La respuesta al nitrato parece ser vía fosforilación/desfosforilación del transportador de nitrato NRT1.1, por el complejo proteína quinasa de interacción CBL (CIPK23); mientras que, la respuesta a la luz, vía fitocromo A (Footitt *et al.*, 2013). En *Arabidopsis*, se reportó que la proteína 8 tipo NIN (NLP8) es esencial para la germinación promovida por nitrato, al reducir los niveles de ácido abscísico en forma dependiente de nitrato y unido directamente al promotor de CYP707A2 codifica una enzima catabólica de ácido abscísico (Yan *et al.*, 2016), fitohormona responsable de la latencia en la semilla (Kolodziejek *et al.*, 2017).

El efecto positivo del KNO_3 se reportó en semillas de *Helianthus annuus* L. (Čanak *et al.*, 2014) y *Solanum lycopersicon* (Moaaaz *et al.*, 2020) lo que mejoró los parámetros de germinación; también, en semillas de *Datura stramonium*, aplicado solo o en combinación con ácido giberélico (Mousavi *et al.*, 2019); además, en semillas de *Capsicum annum* var. *glabriusculum* se reportó que el osmoacondicionamiento, permite la digestión eficaz del endospermo por enzimas inducidas por giberelinas, reduciendo las restricciones mecánicas del endospermo al ser metabolizado y, proporcionar de esta manera energía para iniciar y mantener el crecimiento del embrión (Quintero *et al.*, 2018).

La semilla de las poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente, presentan latencia que limita su germinación y obtener plantas. Algunos estudios reportan el uso de ácido giberélico o tratamientos térmicos para romper la latencia en la población erguida (Saldívar-Iglesias *et al.*, 2010); sin embargo, aún son pocos y, los altos precios vinculados a sustancias para romper la latencia dificultan su empleo generalizado (Bian *et al.*, 2013). Para la población decumbente, no se encontró información al respecto.

La respuesta a cada una de las técnicas empleadas para romper la latencia depende de la especie y del tipo de latencia que presente; lo que permite determinar, la o las técnicas más adecuadas y su proceso de aplicación (Mirmazloum *et al.*, 2020), proceso fundamental cuando se quiere aprovechar una especie bajo condiciones de cultivo.

Agricultura de ambiente controlado

La agricultura de ambiente controlado se enfoca a la producción de cultivos bajo condiciones modificadas y altamente controladas, en donde se emplea tecnología como la de invernaderos, el cultivo en sustratos e hidroponía (Bethke y Lieth, 2016).

Con los invernaderos se busca controlar aspectos como temperatura, humedad relativa, niveles de CO₂ (Singh *et al.*, 2015), y proteger los cultivos contra plagas y enfermedades (Leite *et al.*, 2017). En el cultivo en sustratos, entre otras características, es posible controlar la concentración de nutrientes en la zona radicular (Silber y Bar-Tal, 2008), debido a que el cultivo basado en sustratos no contribuye con nutrientes ni con absorción o intercambio iónico (Raviv y Lieth, 2008), en contraste con el sistema en suelo, donde la biodisponibilidad de nutrientes cambia a través de la matriz del suelo conforme los nutrientes se unen a las partículas de éste, lo que crea microambientes (Nguyen *et al.*, 2016). Por su parte, la hidroponía consiste en el cultivo de plantas en solución nutritiva con o sin el uso, de un medio inerte o sustrato (Sharma *et al.*, 2018), a través de la cual se suministran todos los nutrientes que requiere el cultivo (Nguyen *et al.*, 2016). En la solución nutritiva el pH y la conductividad eléctrica (CE), que expresa la concentración de nutrimentos, son factores importantes. El pH, como una medida de la concentración de iones hidrógeno, juega un papel importante en la disponibilidad de nutrientes para la planta (Sánchez *et al.*, 2022), se considera un pH óptimo en la mayoría de las especies de 5.5 a 6.5, en donde valores fuera de este intervalo puede interferir en el crecimiento y rendimiento de la planta (Alexopoulos *et al.*, 2021). La CE, es específica para cada cultivo y depende de las condiciones ambientales, además, está relacionada con la cantidad de iones disponibles para las plantas en la zona radicular (Ding *et al.*, 2018); característica importante, porque una alta CE ha mostrado que reduce el potencial osmótico, absorción de la solución nutritiva y crecimiento de la planta, debido a un estrés salino, por el contrario, una baja CE afecta el crecimiento y rendimiento de la planta debido a una deficiencia nutrimental (Lam *et al.*, 2020).

Este tipo de tecnología, es útil para determinar la viabilidad de nuevos recursos fitogenéticos con fines agrícolas, al facilitar el estudio de los efectos del cambio de factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que implica someter las especies vegetales a condiciones diferentes de su ambiente natural (Both *et al.*, 2015; Bustamante *et al.*, 2016).

La luz y la temperatura, son probablemente dos de los factores más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Franklin *et al.*, 2014), factores que son modificados por el uso de plásticos en invernaderos (Bustamante *et al.*, 2016).

La respuesta a la temperatura va a depender de la especie, en sus diferentes etapas fenológicas durante su ciclo biológico, la cual presentará un nivel óptimo de desarrollo dentro de un intervalo de temperatura dado (Hatfield y Prueger, 2015), fuera del cual, la planta experimenta una serie de reacciones para soportar el estrés generado por la temperatura, que de lo contrario, llevaría a acelerar la senescencia y muerte de la misma (Yang *et al.*, 2018), como es el caso de los factores de choque térmico (HSFs) que coordinan la respuesta a altas temperaturas, al activar la expresión de proteínas protectoras como la Proteína 70 de choque térmico (HSP70) (Dickinson *et al.*, 2018), donde se ha demostrado que el canal controlado por nucleótidos cíclicos conductores de calcio (CNGC2), tiene un papel termosensor para la inducción de proteínas HSP (Franklin *et al.*, 2014).

La luz es uno de los factores ambientales más importantes que perciben las plantas a través de diferentes fotoreceptores de acuerdo a la longitud de onda, utilizada en el proceso de fotosíntesis y como señal ambiental (Jones, 2018). Los fotoreceptores vinculados a rutas de señalización, llevan a un cambio en la expresión génica cuando son activados por los fotones; la combinación de una proteína fotoreceptora (fitocromo, criptocromo, fototropina, UVR8) y un cromóforo define las propiedades de absorción de la luz (Thoma *et al.*, 2020). Los fitocromos absorben luz roja y roja lejana; las fototropinas, criptocromos y miembros de la familia zeitlupe, absorben luz azul/UV-A; mientras que, el Locus 8 de resistencia UV (UVR8) media la respuesta a la luz UV-B (Franklin *et al.*, 2014).

La respuesta de las plantas a condiciones ambientales distintas a las de su ambiente natural, que se presentan bajo agricultura controlada, que permita determinar su viabilidad para su

producción bajo condiciones de cultivo, puede ser evaluada a través de diferentes caracteres fenológicos, agronómicos, de calidad de fruto, absorción nutrimental y síntesis de metabolitos secundarios.

Fenología

La fenología estudia las fases del ciclo biológico de los organismos, especialmente su sincronización conforme cambia el tiempo y el clima. Su estudio, permite conocer la interdependencia del organismo dentro de contextos ambientales específicos; debido a que cada especie desarrolla comportamientos únicos, sincronizados con variaciones de luz, temperatura y agua, bajo diferentes condiciones climáticas (Liang, 2019). El conocimiento de las diferentes etapas fenológicas de las plantas y su variabilidad, puede ser de utilidad para el manejo del cultivo en aspectos como siembra, fertilización o irrigación; además, permite calendarizar planes de siembra y la selección de variedades o cultivos para una zona determinada (Chmielewski, 2013); ya que, cada genotipo tiene una respuesta distinta a diferentes ambientes de cultivo, por lo que es importante su evaluación (Córdoba *et al.*, 2018), para determinar las mejores condiciones en las que el genotipo expresa su máximo potencial, reflejado en rendimiento y calidad de fruto, y el tiempo que le lleva para expresar este potencial.

El estudio de caracteres fenológicos se ha llevado a cabo en *Solanum lycopersicum*, donde para híbridos tipo cherry cultivados bajo condiciones de invernadero, se encontraron materiales precoces para la aparición del órgano floral, floración y formación del fruto (Córdoba *et al.*, 2018). En la especie *Theobroma cacao* L., se estudió el efecto del riego por goteo y la poda en fenología y rendimiento, se reporta que con una aplicación oportuna del riego y poda, es posible obtener una respuesta óptima en el rendimiento y calidad de frutos (Meneses-Buitrago *et al.*, 2019). En *Physalis peruviana*, el estudio de sus etapas fenológicas bajo condiciones de invernadero y a campo abierto, mostraron una diferencia entre ambos ambientes para los días después del trasplante y temperatura acumulada para las etapas estudiadas, siendo más tardío en condiciones de campo abierto (Sabino-López *et al.*, 2016).

Caracteres agronómicos

El comportamiento de una planta en un ambiente dado, expresado en el fenotipo, es el resultado de su genotipo, el ambiente y la interacción de ambos (Gerrano *et al.*, 2019). Este

comportamiento, puede ser evaluado a través de la medición de diferentes características en la planta como el diámetro de tallo, altura de planta, número de hojas, número de racimos y flores, frutos por racimo y peso de fruto; evaluación que permite determinar la viabilidad de una especie para su producción bajo condiciones de cultivo.

La altura de planta es un aspecto importante cuando se quiere cultivar una planta bajo condiciones de invernadero, ya que un menor porte permite reducir el empleo de mano de obra y el riesgo de dañar tallos durante su amarre (Pilatti y Bouzo, 2000; Juárez-López *et al.*, 2012). La altura puede ser influenciada por aspectos de manejo, como la poda de brotes axilares o densidades de siembra, como lo reportado en *Solanum lycopersicum* (Casuriaga *et al.*, 2020). El diámetro de tallo, en la etapa de generación de plántula, influye en su capacidad para soportar el estrés generado al momento del trasplante (Chiquito-Contreras *et al.*, 2018); además, incide en la resistencia al acame por la acción del viento en campo, y también, es un indicador del vigor de la planta (Antúñez-Ocampo *et al.*, 2014), al manifestar la acumulación de compuestos de reserva que pueden ser traslocados a los órganos de demanda (Preciado *et al.*, 2002). El número de hojas es uno de los factores de crecimiento vegetativo sobre los que depende la fotosíntesis (Jo y Shin, 2020); además, es un indicador del área foliar, donde a mayor área foliar mayor producción de esqueletos carbonados, que son utilizados o almacenados en el tallo de la planta (Preciado *et al.*, 2002). Este carácter puede ser influenciado por los niveles de CE, donde al incrementar los niveles disminuye el número de hojas, respuesta atribuida al estrés hídrico al incrementar los nutrientes en la zona radicular y por consiguiente, la reducción de caracteres vegetativos (Bagale, 2018).

Características como número de flores, racimos y frutos, y peso de fruto, indican sobre el rendimiento de la planta, aspecto importante en la producción de cultivos y sobre el cual, se ha puesto la mayor atención en programas de mejoramiento. En *Solanum lycopersicum* se reporta que el rendimiento está determinado por el peso y número de frutos cosechados (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). Para *Vigna unguiculata* L. Walp, el rendimiento se relaciona con características como número de vainas (Gerrano *et al.*, 2019), relacionado con el número de flores. Sobre estas características se puede influir a través del manejo del cultivo como la poda, con la cual se ha reportado un efecto positivo en el número de flores y frutos por racimo (Mbonihankuye *et al.*, 2013), y en el peso de fruto al promover un balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo, y en la remoción de sustancia de reserva hacia órganos de demanda como los frutos (Ponce-Valerio

et al., 2011). La conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, puede influir de manera negativa en aspectos como número de flores, de racimos y de frutos, al aumentar los niveles de CE (Marchese *et al.*, 2008), y de manera diferencial en peso de fruto dependiendo del genotipo (Martínez-Damián *et al.*, 2017; Colli-Cortés *et al.*, 2020), efecto vinculado al potencial hídrico que influye sobre la expansión del fruto (Dorai *et al.*, 2001).

Calidad de fruto

La calidad puede definirse como la suma de las propiedades individuales de un producto que cumplen con los requerimientos del consumidor (Wiesler, 2012). Atributos como firmeza, tamaño, color, contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, peso de fruto y, relación de sólidos solubles y acidez titulable, son considerados para determinar la calidad. La valoración de estos atributos depende del producto y el mercado de destino. En el caso del arándano, por ejemplo, los atributos principales para la industria son dulzor, acidez, aroma, color, firmeza (Bolaños-Alcántara *et al.*, 2019), y la cera (bloom), recubrimiento superficial blanquecino, que se forma durante el desarrollo del fruto y que lo protege contra la desecación o daño contra patógenos (Loypimai *et al.*, 2017), mientras que, para el consumidor son dulzor, sabor intenso, jugosidad, contenido de antioxidantes, color uniforme en el fruto y sabor del fruto (Gilbert *et al.*, 2014); para el tomate (*Solanum lycopersicum*), la industria busca atributos como peso seco, sólidos solubles totales, acidez titulable (equivalente de ácido cítrico), pH, viscosidad y color, y el consumidor, basa su selección inicial en el tamaño y color del fruto, y después en la calidad interna del sabor (Islam *et al.*, 2019), además que no presenten ablandamiento, característica relacionada con la pérdida de peso del fruto que influye en su vida de anaquel (Luna-Flete *et al.*, 2018).

Firmeza

La firmeza es un parámetro esencial en productos frescos, está relacionada con elementos como B, Ca, Se y Si (Rahman *et al.*, 2021). La influencia de estos elementos sobre la firmeza del fruto, se atribuye a su efecto sobre las propiedades de la pared celular, y se ha reportado en especies como *Solanum lycopersicum* (Islam *et al.*, 2016; Preciado-Rangel *et al.*, 2021), *Cucumis sativus* L. (Abd-alkarim *et al.*, 2017) y *Malus x domestica* Borkh (Karagiannis *et al.*, 2021).

Tamaño de fruto

El tamaño del fruto, determinado por su diámetro ecuatorial y polar, está influenciado de manera positiva o negativa, por factores como condiciones de poca luz ambiental al verse afectado el aparato fotosintético y el bajo suministro de fotoasimilados a los frutos, lo que reduce su tamaño (Gruda, 2005); así también, por estrés hídrico, obteniendo un menor tamaño de fruto debido a una baja absorción mineral durante el desarrollo de éste (Islam *et al.*, 2018), aunque también se ha reportado un efecto contrario (Flores-González *et al.*, 2012); finalmente, por el número de frutos presentes en la planta, obteniendo frutos más grandes ante la menor presencia de éstos, ya que la distribución de materia seca es mayor (Pérez-Labrada *et al.*, 2016), materia seca relacionada con los fotoasimilados almacenados, que mantienen gradientes de potencial hídricos favorables para la absorción de agua al expandirse la célula (Thomas, 2017).

Color de fruto

El color de fruto es un parámetro de calidad importante al influir las decisiones del consumidor (Islam *et al.*, 2018), puede ser usado para estimar la maduración del fruto y determinar atributos internos como el dulzor (Ratprakhon *et al.*, 2020), por lo que es uno de los primeros criterios para la identificación y percepción de la calidad del fruto ya que incluso, el consumidor asocia el color con la seguridad (Villaño *et al.*, 2016). El color de los frutos está determinado por pigmentos como clorofilas, carotenoides y antocianinas, que dan el color verde, amarillo y rojo (Ratprakhon *et al.*, 2020). En muchos frutos, el cambio de color ocurre por la degradación de la clorofila y el incremento en la concentración de pigmentos como carotenoides o polifenoles (Li *et al.*, 2018b).

El estudio del color ha llevado al desarrollo de modelos para su medición, basados en el sistema visual humano, es decir, en cómo el ser humano percibe el color, caracterizando los colores con base en su luminosidad, croma, ángulo Hue, brillantez o saturación (Manamohana *et al.*, 2020). El modelo de color que se considera más completo es el CIE L * a * b (CIELAB) (Ratprakhon *et al.*, 2020). Este determina el color con base en su localización en un espacio de color 3D, y define todos los colores observables para el ojo humano basado en la teoría de oposición del color, en donde, se perciben los colores como variaciones de pares opuestos, tonos claros y oscuros de color, verde y rojo, amarillo y azul (Manamohana *et al.*, 2020). También se

encuentra el modelo $L * C * h$, el cual se basa en el modelo $L * a * b$, donde L indica la luminosidad y los valores de a y b se utilizan para calcular el croma (C) y el ángulo Hue (h), utilizando las siguientes fórmulas (Konica Minolta, 2007):

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} (b / a)$$

$$\text{Croma} = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) es un índice de referencia usado para cuantificar la cantidad de azúcares solubles (sacarosa, fructosa, glucosa y sorbitol, que constituyen del 10 – 20 % de la materia seca del fruto), el cual es usualmente medido en el jugo del fruto utilizando un refractómetro, expresado como concentración de SST en unidades $^{\circ}\text{Brix}$, donde 1 $^{\circ}\text{Brix}$ es igual a 1 g de equivalente de sacarosa por 100 g de solución (Scalisi y O'Connell, 2021). Estos confieren el sabor del fruto como una función del contenido de azúcar. El contenido de SST depende del genotipo y puede ser afectado por las condiciones de cultivo en el que se desarrolle, factores que influyen en la capacidad del fruto de importar asimilados fotosintéticos (Siueia *et al.*, 2020). La intensidad de radiación solar incide sobre el contenido de SST, disminuyendo conforme aumenta el sombreado, como se reporta en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duchesne) crecido en un sistema hidropónico piramidal (Alvarado-Chávez *et al.*, 2020). También son afectados por la salinidad, y en menor medida por la salinidad en combinación con temperatura, ya que la temperatura, por si sola, no tiene efecto sobre los SST, como lo reportado en el cultivo de *Solanum lycopersicum* en donde se evaluaron el efecto de ambos tipos de estrés, solos o combinados (Botella *et al.*, 2020). En arándano (*Vaccinium* sp.), se reportan diferencias en SST entre variedades, en un intervalo de 8.5 a 13.32 $^{\circ}\text{Brix}$ (Santos *et al.*, 2016). La influencia de la interacción de N y S, que influyen en la calidad del fruto poscosecha, se evaluó en el cultivo de *Solanum lycopersicum*, y se reportó un efecto positivo en el contenido de SST (Siueia *et al.*, 2020).

Acidez titulable

La acidez del fruto maduro responde al contenido de ácidos orgánicos presentes como el málico y el cítrico, los más abundantes en muchos frutos, los cuales son sintetizados en el mesocarpo a partir de azúcares transportados, su síntesis puede ser influenciada por prácticas de cultivo como la nutrición mineral, factores genéticos y ambientales (Famiani *et al.*, 2015). Esta característica es importante, ya que junto con los niveles de azúcares, permiten determinar la

palatabilidad del fruto, aunque aún no está suficientemente entendida la vía por la cual los ácidos orgánicos son metabolizados y regulados en la planta (Batista-Silva *et al.*, 2018). El K^+ es el elemento que se le reporta un efecto en esta característica, al reaccionar con los ácidos orgánicos, formar una sal, y disminuir su contenido en el fruto (Zhang *et al.*, 2018). Este elemento a menudo se correlaciona de manera positiva a la absorción de NO_3^- por el balance de cargas, donde el transportador NRT1.5, que dirige el transporte de nitrato, está involucrado en la translocación de K^+ dependiente de nitrato (Feng *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2017).

Relación sólidos solubles totales (SST) / acidez titulable (AT)

Los sólidos solubles y la acidez titulable son importantes para determinar el gusto y sabor de los frutos (Islam *et al.*, 2018), cuyo valor de la relación determina la palatabilidad (Batista-Silva *et al.*, 2018) y que un producto sea aceptado por el consumidor conforme mayor sea dicho valor (Santacruz-Oviedo *et al.*, 2018). El que se obtengan valores altos de la relación SST / AT, responde a contenidos superiores de SST y menores de AT. Los valores varían de acuerdo al cultivo, variedad y, entre ciclos y condiciones de cultivo. Para arándano, cultivado en condiciones suaves de invierno, se reportaron valores de la relación de 10 a 33 (Medeiros *et al.*, 2017); en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) evaluados en función de la vernalización se registraron valores de 6.37 a 14.38 (Santacruz-Oviedo *et al.*, 2018); en la evaluación bioquímica del jugo de 90 genotipos de *Muscadinia rotundifolia* Michx, se reportaron valores entre 2.2 y 6.7 (Campbell *et al.*, 2021).

Absorción nutrimental

La presencia o ausencia de nutrientes para las plantas y, en específico, la proporción de los nutrientes en el medio (suelo, sustrato o solución nutritiva), incide en la fisiología del desarrollo y producción de los cultivos agrícolas (Mardanluo *et al.*, 2018). Por lo que, en cualquier sistema de producción, la disponibilidad y suministro de nutrientes balanceado es el aspecto más importante, ya que un exceso o deficiencia de nutrientes afecta el crecimiento potencial de las plantas (Lee *et al.*, 2017).

En los sistemas hidropónicos, el suministro de todos los nutrientes que requiere el cultivo se realiza a través de la solución nutritiva (Nguyen *et al.*, 2016), con una concentración de nutrientes específica que se mide a través de la conductividad eléctrica (CE) y que depende de las condiciones ambientales (Ding *et al.*, 2018). La CE es proporcional al total de iones disueltos

presentes en la solución (Lee *et al.*, 2017) disponibles para las plantas en la zona radicular (Ding *et al.*, 2018). Esta tecnología junto con la del cultivo en sustratos, permite determinar la absorción de nutrientes por parte de la planta, ya que la primera permite controlar la concentración de los nutrientes, mientras que en la segunda, los sustratos no contribuyen con nutrientes ni con absorción o intercambio iónico (Raviv y Lieth, 2008).

La dinámica de absorción de nutrimentos, es un aspecto importante para generar las curvas de absorción nutrimental por etapa fenológica e identificar los momentos de máxima absorción durante la estación de crecimiento, lo que permite el diseño de planes de fertilización (Castro-Villarreal y Villarreal-Núñez, 2020). Información relevante cuando se estudian nuevos recursos fitogenéticos para su uso en agricultura, ya que la dinámica de absorción varía de acuerdo al genotipo (Gandica y Peña, 2015).

En *Physalis peruviana* L., se reportó que los elementos con más acumulación en hojas fueron N, P, Ca y Mg, y en los tallos, K (Torres *et al.*, 2015). En *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme, se reportó una dinámica de absorción de $K^+ > SO_4^{2-} > Ca^{2+} > NO_3^- -N > Mg^{2+} > PO_4^{3-} -P$, y presentó la mayor absorción al inicio de la cosecha (Lee *et al.*, 2017). En la determinación de macronutrientes en hoja y racimos de *Piper nigrum*, se registró que el N, K y Ca fueron los macronutrientes con mayor acumulación en racimos mientras que, en hoja, hubo una variación durante la estación de crecimiento, mostró la mayor variación en K y Mg (Dalazen *et al.*, 2020).

Metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos o fitoquímicos que no están involucrados de manera directa en la reproducción, el desarrollo y crecimiento normal de la planta (Anulika *et al.*, 2016). Cumplen diferentes funciones ecológicas como defensa contra patógenos y herbívoros, intervienen en la interacción de la planta con polinizadores o sirven como protección contra estrés abiótico como radiación UV-B, frío y sequía (Moore *et al.*, 2014). Su variación natural en la planta, es una importante característica ecológica y evolutiva, para la plasticidad de ésta, ante la respuesta a diferentes desafíos ambientales (Moreno-Ramírez *et al.*, 2018).

Con base en la ruta biosintética y estructura química, los metabolitos secundarios se pueden clasificar como terpenoides, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados (Yeshi *et al.*, 2022).

Los terpenos o terpenoides, son una clase de productos naturales grande y diversa (Qiu *et al.*, 2017), están formados de unidades isopentil (2-methyl-1,3-butadieno) o isopreno de cinco carbonos (C₅) (Yeshe *et al.*, 2022). Los términos terpeno y terpenoide se utilizan a menudo indistintamente (Qiu *et al.*, 2017), sin embargo, los terpenoides se diferencian de los terpenos por tener grupos adicionales como grupos carbonilo de aldehídos, cetonas, ésteres o hidróxilo, a diferencia de los terpenos que tienen sólo unidades isopreno (Yeshe *et al.*, 2022). Los terpenoides se forman a través de la vía del mevalonato en el citosol, retículo endoplásmico y peroxisomas, o por la vía del 2-C-metil-D-eritritol-4-fosfato dentro de los plastidios (Singh y Sharma, 2015). Se describen entre 30,000 a 55,000 terpenoides, entre los que se encuentran las fitohormonas (giberelinas), pigmentos fotosintéticos (carotenoides, fitol) y acarreadores (ubiquinona, plastoquinona) (Yeshe *et al.*, 2022; Qiu *et al.*, 2017). En el ser humano, se describen funciones importantes como hipocolerostémico, antioxidante, antiinflamatorio, anticáncer, antifúngico y antibacterial (Ashraf y Bhatti, 2021; Chanioti *et al.*, 2021).

Los compuestos fenólicos representan al segundo grupo más abundante de productos naturales en el reino vegetal, contienen al menos un anillo aromático con un grupo hidróxilo en su estructura, estos pueden ser clasificados como flavonoides y no flavonoides (ácidos fenólicos) (De la Rosa *et al.*, 2019). Se sintetizan a través de la ruta del ácido shikímico, o del acetato, originan más de 8,000 compuestos (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2019).

Los flavonoides son abundantes en frutas y verduras y como grupo, son los más bioactivos, están estructurados por un esqueleto fenil benzopirano, constituido por dos grupos fenilo (A y B) unidos a través de un anillo de pirano (C), los cuales pueden clasificarse en seis grupos o familias de acuerdo a las diferencias en el anillo pirano (De la Rosa *et al.*, 2019). Dentro de los efectos benéficos que se describen de los flavonoides están: antiinflamatorio, antimicrobiano, en el tratamiento de la gota, de cálculos renales, de la diabetes y de la presión arterial alta (Panche *et al.*, 2016).

Los ácidos fenólicos son los principales constituyentes en el reino vegetal (Srinivasulu *et al.*, 2018). Generalmente, en su estructura contienen un grupo carboxilo (Kumar y Goel, 2019). Son derivados del ácido cinámico ó benzoico, que a su vez pueden ser subdivididos en dos grandes subgrupos, derivados de ácido hidroxibenzoico (ácidos protocatecuico, vaníllico, siríngico, gálico y p-hidroxibenzoico) y derivados de ácido hidroxicinámico (ácidos caféico, ferúlico, sinápico y p-

cumárico) (Leváková y Lacko-Bartošová, 2017). Algunos de los efectos benéficos que se describen para el ser humano son neuroprotector, antioxidante, anticancerígeno y antimicrobiano (Kumar y Goel, 2019).

Los compuestos nitrogenados, son aquellos que contienen átomos de N derivado de la descarboxilación de los aminoácidos. El grupo principal son los alcaloides, seguido de los glucósidos cianogénicos, glucosinolatos (Yeshi *et al.*, 2022) y aminoácidos no protéicos (Vranova *et al.*, 2011). De estos se ha demostrado un uso farmacológico como analgésico, anestesia local, estimulación cardiaca, relajación muscular y toxicidad (Hussein y El-Anssary, 2018; Yamane *et al.*, 2010).

El contenido de metabolitos en la planta depende del genotipo, clima y de las diferentes prácticas agrícolas (Leváková y Lacko-Bartošová, 2017; Liu *et al.*, 2021). El contenido de metabolitos es específico de un linaje o incluso de una sola especie vegetal, con variaciones en sus niveles de acuerdo al cultivar o variedad (Chandrasekara, 2019; Pichersky y Raguso, 2016). Ante factores como temperatura, intensidad y calidad de la luz (García-Macías *et al.*, 2007), salinidad (Lam *et al.*, 2020) o poda de la planta (Liu *et al.*, 2021), se va a generar un estrés en el organismo que promueve la actividad enzimática y la sobre-expresión de genes, de la maquinaria antioxidante celular, incidiendo en la síntesis de metabolitos (Liu *et al.*, 2021; Ding *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2016).

La caracterización de metabolitos es importante para el estudio de la respuesta de la planta a cambios ambientales (Sousa *et al.*, 2019), factores de estrés bióticos y abióticos (Ibarra-Estrada *et al.*, 2016). En la agricultura, resalta su importancia en la calidad de los cultivos, aspecto que hasta ahora ha sido casi totalmente ignorado en programas de mejoramiento (Alseekh *et al.*, 2018); así también, para identificar nuevos recursos genéticos, silvestres o semidomesticados, para su producción bajo condiciones cultivo.

Cabe mencionar, que el estudio de los diferentes factores que inciden sobre el comportamiento del organismo, en la síntesis de metabolitos, debe realizarse de manera conjunta, ya que podrían presentarse mecanismos de señalización que estén conectados ante situaciones de estrés, permitiendo un mejor entendimiento del comportamiento de la planta (Martínez *et al.*, 2016; Franklin *et al.*, 2014).

CAPÍTULO I. BREAKING SEED DORMANCY OF *Jaltomata procumbens* (CAV.) J. L. GENTRY SEEDS WITH THE USE OF KNO₃¹

1.1 ABSTRACT

Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry presents seed dormancy mechanisms in its two populations, erect and decumbent, that make its germination and obtaining of plants difficult. Potassium nitrate (KNO₃) is used as a seed germination promoter by soaking in an osmotic solution. The objective was to break the dormancy of *Jaltomata* seeds by evaluating KNO₃. Treatments included: 2 populations (erect and decumbent), 2 soaking times (4 and 6 days) in 2 concentrations of KNO₃ solution (0.1 and 0.2%) and in distilled water used as a control. Days of germination including starting (DGS) and ending (DGE), energy period (EP), germination energy (GE), germination percentage (GP) and rate (GR) were measured. The erect population presented a more uniform germination and a lower number of DGS and DGE as well as 100% germination with the highest GR (2.56 seeds day⁻¹). No statistical differences were observed between KNO₃ and control; however, the positive effect of the KNO₃ and 4 days of soaking on the germinated seed was observed. The decumbent population exhibited a more variable germination; however, the same trend of the solution type and soaking days was observed, reaching 93.1 GP. Considering the economic and accessibility aspects of substances that promote germination on *J. procumbens*, distilled water imbibition and KNO₃ are recommended to accelerate the germination process.

Keywords: native plant resources; seed; dormancy; osmopriming

1.2 RESUMEN

Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry, presenta mecanismos de latencia en sus dos poblaciones, erecta y decumbente, que dificulta su germinación y obtener plantas. El nitrato de potasio (KNO₃) es usado como promotor de la germinación a través del remojo en una solución osmótica. El objetivo fue romper la latencia de semillas de *Jaltomata* evaluando KNO₃. Los tratamientos fueron: 2 poblaciones (erecta y decumbente), dos tiempos de remojo (4 y 6 días) en 2 concentraciones de solución de KNO₃ (0.1 y 0.2 %) y agua destilada usada como control. Se midieron los días en que inició (DGS) y finalizó (DGE) la germinación, el periodo de energía (EP),

¹ Artículo publicado en la revista *Crops: Breaking Seed Dormancy of Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry Seeds with the Use of KNO₃. *Crops* **2022**, 2, 99–110.

energía de germinación (GE), porcentaje (GP) y tasa (GR) de germinación. La población erecta presentó una germinación más uniforme y un número más bajo en DGS y DGE, así como, el 100 % de germinación con la GR más alta (2.56 semillas día⁻¹). No se observaron diferencias estadísticas entre KNO₃ y el control; sin embargo, se observó el efecto positivo de KNO₃ y 4 días de remojo en la semilla germinada. La población decumbente mostró una germinación más variable; sin embargo, se observó la misma tendencia del tipo de solución y días de remojo, y alcanzó 93.1 GP. Considerando aspectos económicos y de accesibilidad de sustancias para promover la germinación en *J. procumbens*, la imbibición en agua destilada y KNO₃ son recomendadas para acelerar el proceso de germinación.

1.3 INTRODUCTION

Jaltomata procumbens (Cav.) J. L. Gentry, of erect growth habit and blue-dark fruit color, is considered a semi-domesticated species and viable for future use. There are different populations in specific regions of Mexico; one includes the decumbent growth habit and green fruit at a mature stage. The first one is ruderal, on the edge or inside of crop fields; the second one is found inside of those sites. Both populations are used as edible fruit in Mexico (Mione, 2018, Personal Communication).

The seed of some wild species, or during the domestication process, presents dormancy mechanisms that allow them to persist through time in unfavorable conditions. This is a limitation for growing a species since fast germination and growth are required (Quintero *et al.*, 2018). Desirable characteristics are also important because these allow an early and uniform plant emergence, positively influencing yield, quality, and economic incomes (Mirmazloun *et al.*, 2020).

In general, two kinds of dormancy exist: endogenous and exogenous. In the first one, some embryo characteristics prevent germination; in the second one, structural and chemical characteristics prevent the process. Derived from this, dormancy can be classified into five classes considering physical, morphological, and physiological aspects, and their combinations; with the non-deep physiological dormancy type present in most seeds (Baskin y Baskin, 2014). To overcome this limitation, techniques to promote germination such as chemical and physical scarification, stratification, or their combinations are used.

The seed of *Jaltomata procumbens* populations presents dormancy mechanisms that limit its germination and ability to develop into plants. Some studies are reported to release dormancy on the erect population, where gibberellic acid and heat treatment were utilized (Saldívar-Iglesias *et al.*, 2010); however, these are still scarce, and high prices linked to break dormancy substances, thus making it difficult for its generalized usage (Bian *et al.*, 2013). Throughout the literature review, no information was found for the decumbent population.

Potassium nitrate is known as a germination promoter for a wide plant species variety; but in some species, it may also have the opposite effect (Duermeyer *et al.*, 2018). It is applied through soaking, where the seed is hydrated under controlled conditions between water potential of a determined concentration solution and the water potential seed inside; therefore, osmotic solution activates the metabolism, preventing radicle emergence; after that, the seed is taken out from the solution and put it into an adequate environment, where the germination process is reactivated and accelerated (Mirmazloun *et al.*, 2020; Moreno y Jiménez, 2013). The effectiveness of soaking with an osmotic solution depends on the solution water potential and treatment duration (Quintero *et al.*, 2018).

The effect of KNO_3 on seed germination could be due to oxidized forms of nitrogen such as NO_3 or NO (Mirmazloun *et al.*, 2020). It has been reported that the NO_3 ion reduces light requirements because it enhances the sensitivity of the seed to this factor (Bian *et al.*, 2013); however, its effect is not limited to photoblastic germination as it can also promote the germination for several species under dark conditions (Duermeyer *et al.*, 2018). The response to nitrate appears to be via phosphorylation/dephosphorylation, for the kinase protein CIPK23, from nitrate transporter NRT1.1, while the light response is via phytochrome A (Footitt *et al.*, 2013). Nitric oxide is recognized as a powerful agent for breaking seed dormancy in many species (Arc *et al.*, 2013a). Its production is mediated by nitrite reductase (NiR) which reduces NO_2 to NO , using NAD(P)H as an electron donor. Its production could be beneficial at relatively low levels, functioning as a second messenger (Arc *et al.*, 2013b). It could participate in either signaling or responses to environmental stress such as that generated by salinity (Corpas, 2018). Nitric oxide has different modes of action to promote germination such as reducing ABA sensitivity or accumulation, enhancing *CYP707A2* gene expression or, through changes in the pentose phosphate

pathway, promoting the increase in the glucose catabolism and thus promoting dormancy release (Arc *et al.*, 2013b).

A positive effect of KNO₃ was reported in seeds of *Helianthus annuus* L., improving the germination parameters as germination index, mean germination time and time to 50% germination (Čanak *et al.*, 2014); this also occurred in *Datura stramonium* seeds, applied alone or in combination with gibberellic acid, with the highest percentage of germination between 50 to 63 % (Mousavi *et al.*, 2019). In *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum* seeds, it was reported that osmopriming allows the efficient digestion of the endosperm by gibberellin induced enzymes, reducing the endosperm mechanical restrictions when being metabolized and, providing energy to start and maintain embryo growth (Quintero *et al.*, 2018). In *Solanum lycopersicum* seeds a positive effect of KNO₃ on seed germination was reported, related with the activity of the enzyme nitrate reductase, which acted as a germination promoter (Lara *et al.*, 2014).

The response to every technique used to break the dormancy depends on the species and dormancy type; then, it is necessary to develop a technique to break dormancy of *Jaltomata procumbens* erect and decumbent type. The objective of this research was to break seed dormancy of two *J. procumbens* populations (erect and decumbent) by evaluating potassium nitrate solution and two soaking times.

1.4 MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in a germination chamber (Model: ATTGPT-B; Serie: 143-958-201) at Botany Program of Postgraduate College, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, State of Mexico from 29 May to 30 June 2019.

1.4.1 Genetic Material

Erect and decumbent populations of *J. procumbens* from Tlaxcala, Mexico, were evaluated (19°15' N y 97°53' W, at 2500 m of altitude); predominant temperate sub-humid climate C(w1) y C(w2); average annual temperature between 12 and 18 °C. Ripe fruit seeds collected in 2015 were used, which were given the following handling: extracted seeds were rinsed off with tap water; after that, the seeds were dried under shadow at room temperature; finally, they were stored in

plastic jars of 30 mL capacity, with screw cap, and were maintained in refrigerated conditions at 4 °C.

1.4.2 Experiment Management

The treatments for both populations were 2 KNO₃ concentrations: 0.1 and 0.2%, and, in distilled water used as control; there were 2 soaking times: 4 and 6 days.

The seed with treatments was placed in transparent plastic cups of 24 mL capacity and maintained in a germination chamber with diurnal (12 h at 30 °C) and nocturnal (12 h at 20 °C) conditions. When necessary, KNO₃ solution and distilled water was used to keep seeds at soaking conditions.

After soaking time, the seeds were extracted and placed in a sieve (mesh number 22), and rinsed with distilled water during 10 s. After that, in petri dishes, seeds were distributed on moistened filter paper; finally, petri dishes were placed in the germination chamber under the aforementioned light and temperature conditions. Distilled water was applied to keep the paper moistened.

1.4.3 Experimental Design

The arrangement of treatments was a factorial design with the next factors and levels: 2 populations (erect and decumbent), 2 soaking times (4 and 6 days), 2 KNO₃ (0.1 y 0.2%), and distilled water used as control, providing 12 treatments in total. The treatments were distributed in a completely randomized design with three replications. The experimental unit was a petri dish with 25 seeds each, with 36 experimental units in total.

1.4.4 Variables Registered and Generated

For 33 days, germinated seeds were registered. Radicle emergence from the testa was used as biological germination criterion.

Days to germination starting (DSG) and ending (DEG) were determined. Furthermore, the following germination variables were calculated (García-López *et al.*, 2016; Pece *et al.*, 2010):

Germination percentage (GP)

$$GP = \frac{\text{Number of germinated seeds}}{\text{Number of seeds set to germinate}} \times 100$$

Energy period (EP). days after sowing (DAS) to reach 50% or more of germinated seeds.

Germination energy (GE). cumulative germination percentage once reached the energy period.

$$GE = \frac{\text{Cumulative daily total of germinated seeds}}{\text{Number of seeds set to germinate}} \times 100$$

Germination rate (GR). number of germinated seeds every day.

$$GR = \frac{\text{Number of germinated seeds}}{\text{Number of days to first count}} + \dots + \frac{\text{Number of germinated seeds}}{\text{Number of days to last count}}$$

1.4.5 Statistical Analysis

Results of the germination percentage were analyzed with logistical regression using the Wald test. To evaluate the model, Forward and Stepwise tests were applied. For the germination variables, analysis of homogeneity of variances and normality were performed; those data that did not meet the statistical assumptions were transformed using square root. The data were analyzed with the SAS program 9.2 version statistical program (SAS, 2008); performing a variance analysis, based on a completely random factorial model $2 \times 3 \times 2$, and Tukey's separation means test ($P \leq 0.05$).

1.5 RESULTS

1.5.1 Effects Analysis on the Germination

Population (Pop), solution (Solu) and soaking time (Soak) affected the germination probability ($P \leq 0.05$). The erect population registered 100 % of germination and the decumbent 93.1 %. The Pop \times Solu and Pop \times Soak interactions indicate that each type of solution and soaking time had a different effect within each population; for Solu \times Soak, however, the soaking time affected germination differently within each type of solution. Finally, the effect of the day

corresponding to the total evaluation period shows the probability that germination increases with time (Table 1.1).

Table 1.1. Effects analysis on the germination of two *J. procumbens* populations. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019.

Effect	Degrees of Freedom	Wald Chi-Squared	Pr > ChiSq
Population	1	437.3	<0.0001
Solution	1	35.4	<0.0001
Soaking	1	91.9	<0.0001
Pop × Solu	1	11.4	0.0007
Pop × Soak	1	24.4	<0.0001
Solu × Soak	1	39.5	<0.0001
Day	1	5796.4	<0.0001

The erect population showed a more uniform germination pattern, the combinations of 4 soaking days with KNO₃ at 0.1 or 0.2 % stood out whereby the germination started earlier with the highest number of seeds, reaching on average at 12 DAS 100 % of germination (Figure 1.1). On the contrary, the decumbent population showed a heterogeneous pattern, where KNO₃ at 0.2 % with 4 soaking days started the germination process earlier; however, the control and 4 soaking days finished this process first. In addition, it registered a germination interval of 90.7 to 98.7 %.

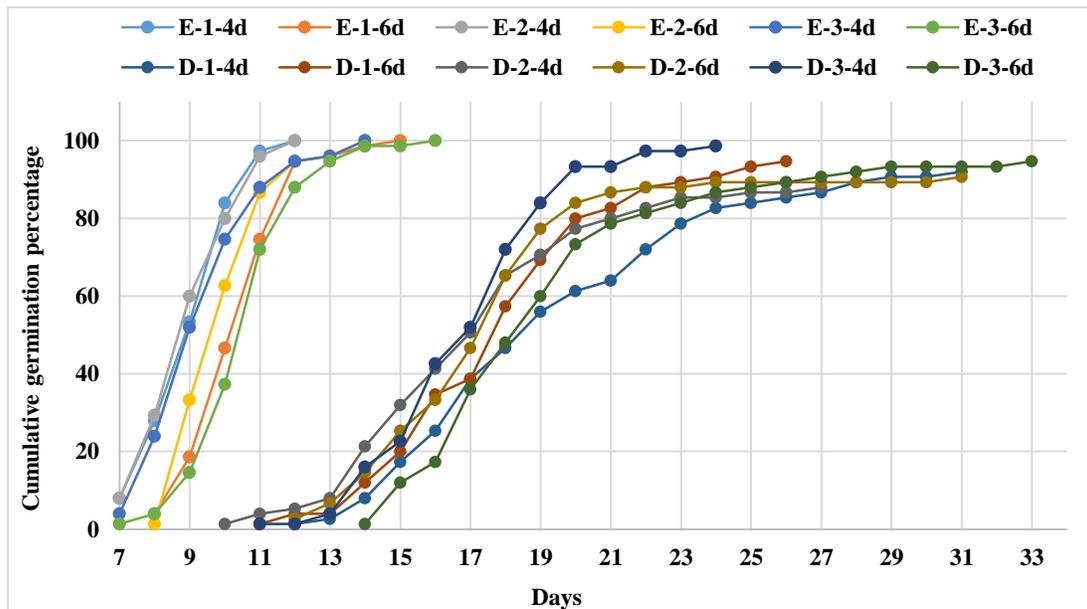


Figure 1.1. Cumulative germination of two *J. procumbens* populations. Population: erect (E) and decumbent (D); solution: 1 (0.1% KNO₃), 2 (0.2% KNO₃), 3 (control); soaking: 4 days (4 d), 6 days (6 d). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019.

1.5.2 Germination Model

When the model was evaluated, the erect population, the solution, the soaking and their combinations each had an effect on the probability of germination as the days of the evaluation period increased ($P \leq 0.05$). Based on the estimators of these parameters (Table 1.2) the probability of germination was obtained, taking into account each of the treatments and time from sowing. As a result, the same trend was obtained where, with increasing the total evaluation time, there is a probability that germination percentage will increase; the erect population, with the three types of solution and both soaking times, presents the highest probability of starting and ending the germination process earlier than the decumbent. However, in both populations, there is a 100% germination probability: outstanding out the control with four soaking days with the best effect on germination probability (Figure 1.2).

Table 1.2. Analysis of maximum likelihood estimates on the germination of two *J. procumbens* populations. Population (Pob): erect (E); solution (Solu); soaking (Soak). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019.

Parameter	Estimator	Standard Error	Wald Chi-Squared	Pr > ChiSq
Intercept	-4.90	0.20	619.16	<0.0001
Population E	2.62	0.13	437.33	<0.0001
Solution	-0.86	0.14	35.37	<0.0001
Soaking	-0.35	0.04	91.91	<0.0001
Population E × Solution	0.10	0.03	11.37	0.0007
Population E × Soaking	-0.11	0.02	24.37	<0.0001
Solution × Soaking	0.18	0.03	39.45	<0.0001
Day	0.47	0.01	5796.41	<0.0001

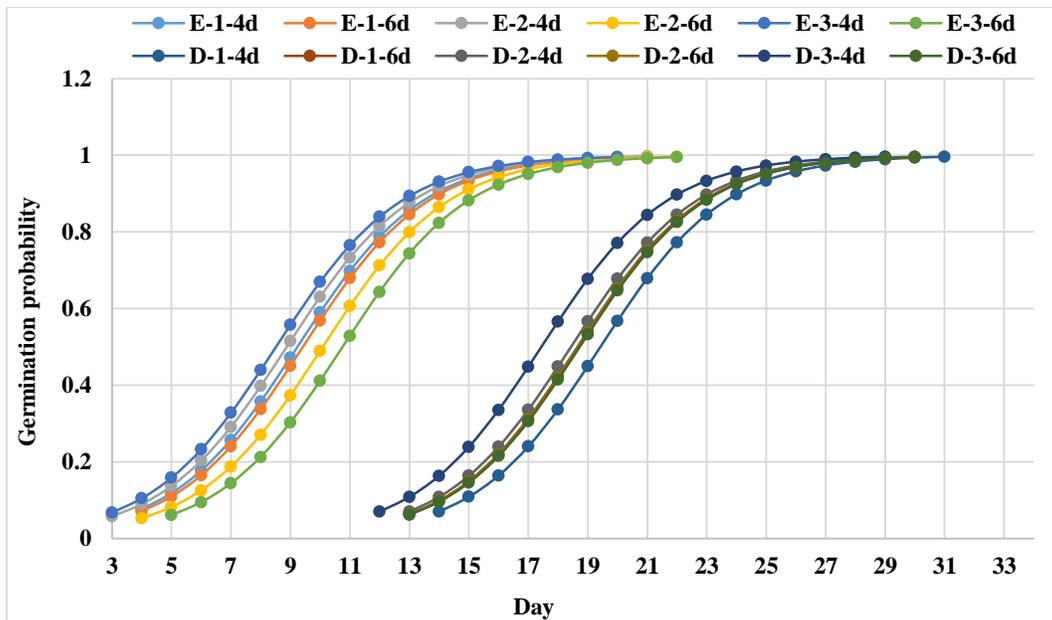


Figure 1.2. Germination probability of two *J. procumbens* populations. Population: erect (E) and decumbent (D); solution: 1 (0.1% KNO₃), 2 (0.2% KNO₃), 3 (control); soaking: 4 days (4 d), 6 days (6 d). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of México. Data taken between 29 May and 30 June 2019.

1.5.3 Germination Variables

For calculated germination variables, the population had an effect on all variables, while soaking influenced EP and GR ($P \leq 0.05$). The highest coefficient of variation was detected in the percentage of germination energy, at a percentage of 14.23 %.

In the Pop \times Soak interaction there was a statistical difference in GR, indicating that for this variable, the effect of soaking time was not the same within each population.

The erect population presented a superior response in all variables (Table 1.3) and showed uniform and faster germination than the decumbent population; recorded fewer DSG (7.7 days) and DEG (13.0 days). This concentrated the germination process in an average period of 5.3 days, which derived in fewer DAS (9.8 days) to reach 50 % or more of germinated seed, being earlier in 82.5 %, with an RG of 2.6 seeds day⁻¹. These characteristics are important to use a species for agronomical purposes, to obtain homogenous seedlings in size in the shortest possible time; furthermore, costs are reduced by shortening the time designated to this production stage (Mirmazloun *et al.*, 2020).

Table 1.3. Mean values of germination variables of two *J. procumbens* populations. Solution: 0.1, 0.2% of KNO₃ and control; soaking: 4 days (4 d) and 6 days (6 d). Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019.

	Days to Start Germination	Days to End Germination	Energy Period	Germination Energy	Germination Rate
Population					
Erect	7.7 b [†]	13.0 b	9.8 b	64.0 a	2.6 a
Decumbent	12.7 a	25.6 a	17.9 a	57.1 b	1.3 b
Solution (%)					
0.1	10.1 a	19.0 a	13.7 a	58.3 a	1.9 a
0.2	10.0 a	18.2 a	13.2 a	60.7 a	2.0 a
Control	10.1 a	19.2 a	13.8 a	62.7 a	1.9 a
Soaking (days)					
4 days	9.6 a	18.2 a	13.1 b	59.3 a	2.0 a
6 days	10.4 a	19.5 a	14.0 a	61.8 a	1.9 b

[†]Different letters indicate statistical difference (Tukey, $P \leq 0.05$).

There were no statistical differences in the solution type. However, a positive effect of KNO₃ at 0.2 % was observed on DSG, DEG, and EP with the lowest values; in the same way, this effect was registered for GR, showing the highest number of germinated seeds per day (Table 1.3).

The soaking time produced statistical differences on EP and GR. In both variables, 4 days favored them with a difference of 6.6 and 9.1 %, respectively. For DSG and DEG, although there were no statistical differences, the same trend with that time was registered; on contrary, with six days, the highest EG was obtained but without being statistically different with respect to four days of soaking (Table 1.3).

1.5.4 Effect of Population and Solution on Germination

The Pop × Solu combination had an effect between populations on DSG, EP, and GR. Within populations, it was observed that the minor number of DSG was favored, with the control and KNO₃ at 0.2 % on erect and decumbent populations (Figure 1.3). For the last population, the same KNO₃ concentration favored the minor number of DEG; while, for the first, the lowest value was obtained with 0.1 % of KNO₃ (Annex 1.1).

With KNO₃ at 0.2 %, the lowest EP in both populations was registered, where the erect population stands out; with a difference of 84.3 % lower (Figure 1.3). This same KNO₃ concentration was favorable on the erect population for obtaining the highest GR with 260.3 %, in comparison with the decumbent that registered its highest GR with the control.

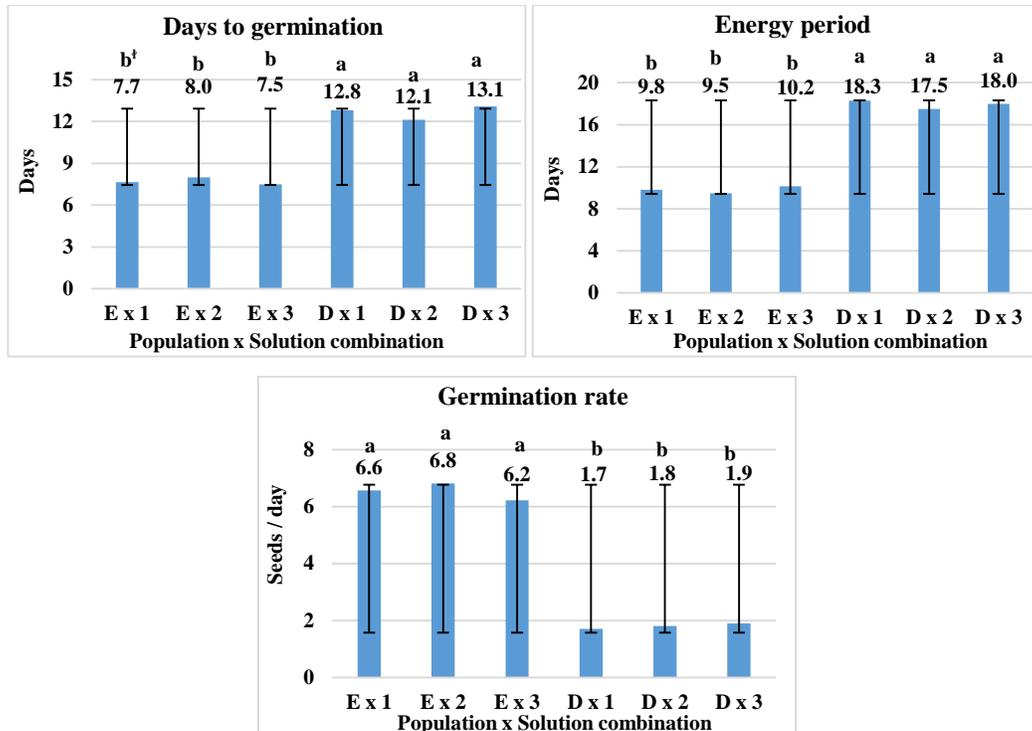


Figure 1.3. Effect of Population \times Solution combination on days to germination, energy period and germination rate of two *J. procumbens* populations. Population: erect (E) and decumbent (D); solution (Solu): 1 (0.1% KNO_3), 2 (0.2% KNO_3), 3 (control). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019. [†] Different letters above bars indicate statistical difference (Tukey, $P \leq 0.05$).

1.5.5 Effect of Population and Soaking on Seed Germination

For Population \times Soaking combination, the lowest DAS to start germination was observed with four soaking days, without being statically different from six days within populations. In this sense, with 4 soaking days, the erect population stood out with 71.8 % lower DSG than the decumbent population (Figure 1.4).

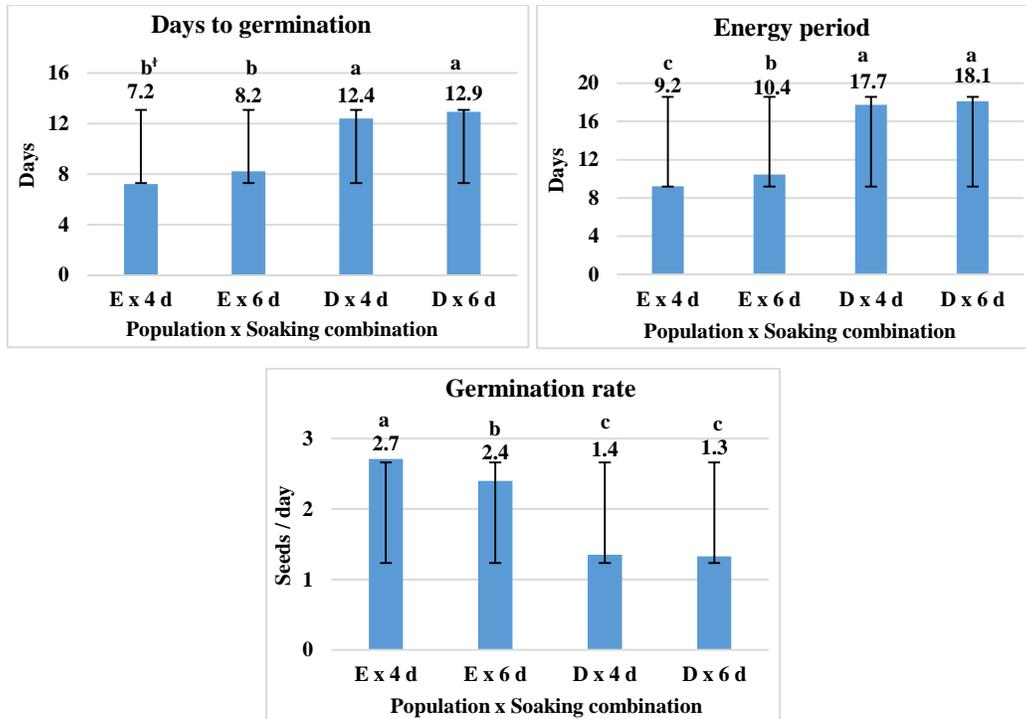


Figure 1.4. Effect of Population \times Soaking combination on days to germination, energy period and germination rate of two *J. procumbens* populations. Population: erect (E) and decumbent (D); soaking: 4 days (4 d), 6 days (6 d). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019. [†] Different letters above bars indicate statistical difference (Tukey, $P \leq 0.05$).

In EP and GR, with the combination of erect population and 4 soaking days, better values were obtained and exhibited a statistical difference to the other combinations. In this way, this population stood out with 96.3 % in EP and with 103.8 % in GR with regard to decumbent and 6 days combination, presenting the highest EP and the lowest GR.

1.6 DISCUSSION

Potassium nitrate alone and in combination with soaking time had a different effect on each population. This indicates that, even between populations of the same species, there was a differential response to treatments to break dormancy; in addition to the observation between species, Moreno and Jiménez (2013) and Mirmazloun *et al.* (2020) reported that the response to a soaking treatment with an osmotic solution depends on the species, in addition to the solution type used, and the soaking time. KNO_3 at 0.2 % and 4 soaking days registered the lowest number of DSG; however, it was not statistically different to the other combinations (Figure 1.5). This

same combination presented the lowest EP value, statistically different to the control and 6 soaking days; with a difference between both of 15.0 %.

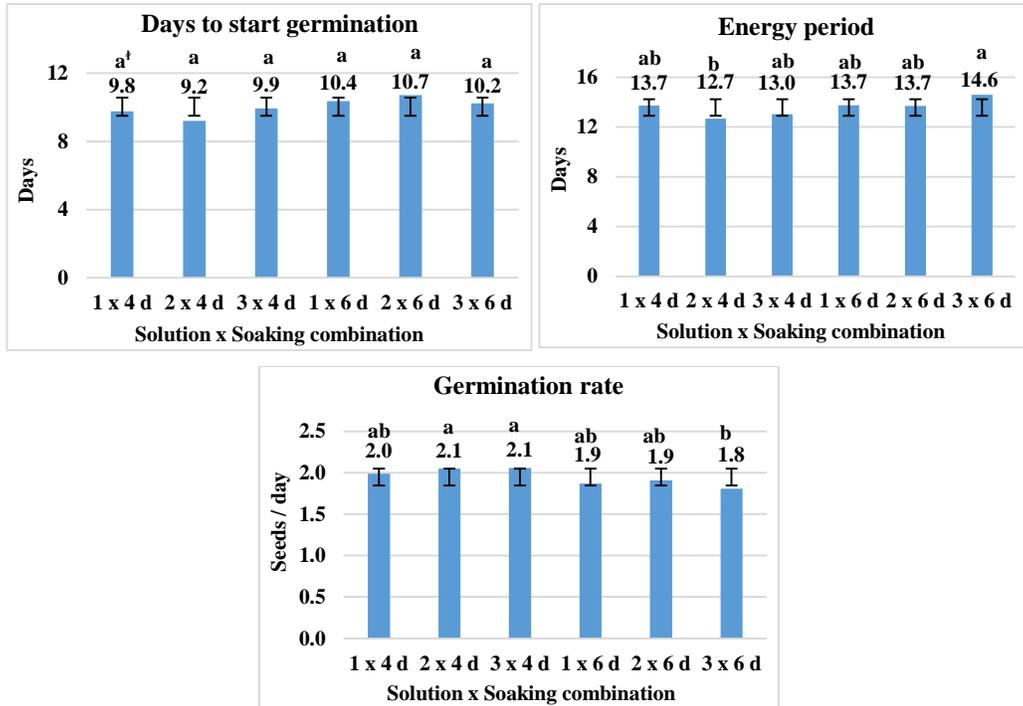


Figure 1.5. Effect of Solution \times Soaking combination on days to germination, energy period and germination rate of two *J. procumbens* populations. Solution: 1 (0.1 % KNO_3), 2 (0.2 % KNO_3), 3 (control); soaking: 4 days (4 d), 6 days (6 d). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Data taken between 29 May and 30 June 2019. [†] Different letters above bars indicate statistical difference (Tukey, $P \leq 0.05$).

On the other hand, a positive effect of the control on the germination process was also observed in both populations; registering the control and four soaking days the highest GR, but without being statistically different to the other combinations, with exception to the control and six soaking days that presented the lowest value.

This could be attributed to the elimination through soaking of substances such as tannins presented in the seed, recognized as germination inhibitors. One of these substances in the fruit of both populations was reported, with a content of 1.3 and 1.2 g of floroglucin / 100 g of dry sample (Williams, 1985). Tannins reduce the gibberellins activity through protein precipitation, resulting in an inhibition of the growth caused by gibberellin, also inhibiting enzymes related to the synthesis of sugars as glucose phosphate isomerase, aldolase and, glucose-6-phosphate-dehydrogenase and thus, the inhibition of radicle emergence (de Almeida *et al.*, 2014; Green y Corcoran, 1975). The positive effect of tannins elimination using distilled water was reported in seeds of *Phaseolus*

aureus L., reducing its content among 18 to 35 % by the leaching out of the polyphenols through the used water (Tajoddin *et al.*, 2014). Thus, in this work, this situation could be presented, registering similar results to the treatments with KNO₃, without statistical differences. This response was similar to that reported in the germination of *Foeniculum vulgare* Mill., where no significant behavior was found when was applied KNO₃ compared with distilled water (Tahaei *et al.*, 2016).

However, the greatest positive trend in the germination process was with KNO₃. This can be explained by the KNO₃ osmopriming effect, through which, the metabolism is activated without radicle emerging, but when seed is removed from the solution and under suitable conditions the process is accelerated (Mirmazloun *et al.*, 2020; Moreno y Jiménez 2013); the phenomenon that was observed when registering the greatest initial number of germinated seeds, the highest GR and the lowest EP. A similar response was observed in *Capsicum chinense* Jacq., where with KNO₃ osmopriming, a radicle emergence was not observed during the KNO₃ osmopriming compared with distilled water, but a greater seedling emergence was registered (Garruña-Hernández *et al.*, 2014).

The positive effect on germination of KNO₃-soaking seeds could be due to the influence of the oxidized forms of nitrogen as NO₃ or NO (Mirmazloun *et al.*, 2020). Nitrate induces the genetic expression such as genes involved in the nitrate assimilation (nitrate and nitrite reductase); nitrate transport (CHL1/NRT1.1); energy production and metabolism of carbon (glucose-6-phosphate dehydrogenase); GARP-like transcription factors; genes involved in hormonal metabolism and signaling (Duermeyer *et al.*, 2018). Nitric oxide is recognized as a potent agent to break dormancy on seeds (Arc *et al.*, 2013a) working through the influence on ABA accumulation and sensitivity, *CYP707A2* gene expression or, pentose phosphate pathway (Arc *et al.*, 2013b). In *Arabidopsis* seeds, after six hours of soaking with NO₃ the *CYP707A2* gene induction has been observed, which encodes an abscisic acid 8'-hydroxylase, the main catabolic enzyme of abscisic acid in imbibed seeds, presenting an accelerated decrease in this hormone recognized as germination inhibitor (Duermeyer *et al.*, 2018). The effect of NO has been reported on *Paulownia elongata* seeds in combination with light conditions or cold stratification, where the accumulation of endogenous NO in the early stage of absorption can promote the break dormancy (Liu *et al.*, 2019).

Furthermore, the NO_3 seems to be related to phytochromes, functioning as sensors to different factors as the light, and which have an important role in the germination process (Footitt *et al.*, 2013); therefore, nitrate could stimulate the accumulation of cGMP (Arc *et al.*, 2013a), a molecule recognized as a key signaling in many process in plants including seed germination through direct effect on the phytochrome signal transduction (Gehring y Turek, 2017), which promotes phytochrome responses (Arc *et al.*, 2013a). The response to light presents two types of action where the first one, very-low-fluence response (VLFR), is mediated by phytochrome-A, and the second one, low-fluence response (LFR), is mediated by phytochrome-B (Arana *et al.*, 2007). In *Arabidopsis*, the greatest phytochrome-A expression seems to be linked to the nitrate presence in combination with a long exposure to darkness and low temperatures, improving the germination process (Footitt *et al.*, 2013). In this research, in addition to nitrate, low temperature (20 °C) and darkness conditions were provided, which could have generated a response similar to that observed in *Arabidopsis* where the expression of *DOG1*, *PHYA* and *CIPK23* genes act as temperature, light and nitrate sensors, respectively, recognizing the appropriate conditions to release the seed dormancy through the enhanced expression of *GA3ox1* (Footitt *et al.*, 2013) increasing a positive trend in the germination process.

The trend of the results obtained with KNO_3 treatment were similar to those reported in *Brachiaria humidicola*, where it was registered a favorable response with KNO_3 in GP, because the nitrate influences the break seed dormancy by its action in the pentose phosphate pathway (De Libório *et al.*, 2017). In the same way, in the *Citrus limonia* Osbeck seeds stored up to 3 months, preconditioned with KNO_3 for up to 9 days, it was reported a trend in the improvement of the germination, getting results for up to 85 GP with 84.5 % of emergence; concluding, that osmopriming seems to reverse the storage effect in the seed, improving germination percentage, which indicates a metabolic recovery (Dantas *et al.*, 2010).

Results obtained for the erect population in germination percentage (100 %) and germination period (13.0 DAS on average) were superior to those registered by Tovar (2005), who, with unfermented fruits, 40 days of storage of the seed and 20 °C germination temperature, obtained 61.0 % of germination to 27 DAS. Moreover, in those reported by Saldívar-Iglesias *et al.* (2010), who evaluated gibberellic acid, with a concentration of 250 mg L⁻¹ on seed emergence, a

registering of up to 87 % of germination in a period of 25.5 days was observed. However, these authors carried out the evaluation in substrate (moss and perlite).

For the decumbent population, the germination period (25.63 days after sowing) was between the data reported by Tovar (2005) and Saldívar-Iglesias *et al.* (2010); also, an improvement in the germination process was observed, registering a high percentage of 93.13 % of germination. In this population, in a study about morphological differences and infertility, 36.2 % germination was observed in 2 months (Coe, 1997).

1.7 CONCLUSIONS

Seed dormancy can be broken in *J. procumbens* populations (erect and decumbent) with KNO_3 in combination with 4 days of seed soaking.

Differential responses to treatments between and within populations were observed; however, the erect population stood out with the best data for germination variables.

No statistical differences between KNO_3 solution and the control were obtained; however, the greatest positive trend with KNO_3 in the germination process was observed.

It is necessary to determine the influence of factors such as temperature and light on the germination process of *J. procumbens* seeds, and the expression of genes linked to these factors.

Considering economic and accessibility aspects on the of use substances that promote germination on *J. procumbens*, distilled water imbibition and KNO_3 are recommended to accelerate the germination process.

CAPÍTULO II. CARACTERES AGRONÓMICOS DE DOS POBLACIONES DE

Jaltomata procumbens (CAV.) J. L. GENTRY¹

2.1 RESUMEN

Introducción. *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry, de uso alimenticio, se considera una especie semidomesticada (poblaciones que han tenido un proceso de selección artificial pero aún tienen la capacidad de sobrevivir y reproducirse sin la intervención del ser humano) y que cumple con los criterios para su futuro uso. Objetivo. Evaluar caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía. Materiales y métodos. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de julio a diciembre de 2019. Se aplicaron los siguientes tratamientos en un sistema hidropónico abierto: dos poblaciones (erguida y decumbente); tres niveles de conductividad eléctrica (CE): 1, 2 y 3 dS m⁻¹ y dos niveles de poda (con y sin poda). Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH) y de racimos (NR), flores por racimo (FLR), frutos por racimo (FR), peso de fruto (PF), rendimiento (REND) y lecturas SPAD. Resultados. Para ambas poblaciones, su cultivo en condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto. Se observó una variabilidad dentro y entre poblaciones para poda y conductividad eléctrica; el cultivo a 3 dS m⁻¹ registró la menor altura de planta y el mayor diámetro de tallo, mientras que con 1 dS m⁻¹ se obtuvo el mayor rendimiento; para el tratamiento con poda los valores más altos se presentaron en flores por racimo, frutos por racimo y peso de fruto. Conclusiones. Ambas poblaciones presentaron el potencial para ser consideradas en estudios en ambientes controlados.

Palabras clave: recursos nativos, semi-domesticación, agricultura protegida, hidroponía

2.2 ABSTRACT

Introduction. *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry, used as food, is considered a semi-domesticated species (populations that have had a process of artificial selection but still have the ability to survive and reproduce without human intervention) and meets the criteria for future use. Objective. To evaluate agronomic traits of two *J. procumbens* populations, in greenhouse and

¹ Artículo publicado en la revista *Agronomía Mesoamericana: Caracteres agronómicos de dos poblaciones de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry. *Agronomía Mesoamericana* 2021, 32(3):733-749.*

hydroponics. Materials and methods. The research was carried out at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico, from July to December 2019. The following treatments were applied in an open hydroponic system: two populations (erect and decumbent), three electrical conductivity levels (CE): 1, 2 and 3 dS m⁻¹ and two pruning levels (with and without pruning). The variables evaluated were: plant height (AP), stem diameter (DT), number of leaves (NH) and clusters (NR), flowers by clusters (FLR), fruits by clusters (FR), fruit weight (PF), yield (REND) and SPAD readings. Results. For both populations, their cultivation under greenhouse and hydroponic conditions promoted development in plant height, stem diameter, and fruit weight. Variability within and between populations was observed for pruning and electrical conductivity; the crop at 3 dS m⁻¹ recorded the lowest plant height and the highest stem diameter, while at 1 dS m⁻¹ the highest yield was obtained; for the pruning treatment, the highest values in flowers by cluster, fruit by cluster, and fruit weight were presented. Conclusion. Both populations showed the potential to be considered for studies in controlled environments.

Keywords: native resources, semi-domesticated species, protected agriculture, hydroponics

2.3 INTRODUCCIÓN

Dentro de la diversidad de plantas arvenses identificada en México (Albino-García *et al.*, 2011) se encuentran una parte importante con uso alimenticio, de las cuales se han reconocido ejemplares candidatos para estudios agronómicos, como *J. procumbens* (Williams, 1985; Williams, 1993).

De hábito de crecimiento erguido y fruto azul-negruzco, *J. procumbens*, es una especie arvense con uso alimenticio en México (Laferriere *et al.*, 1991; Mione, 2017). También cuenta con una población distinta en regiones específicas del país, de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro. La primera se puede encontrar como ruderal, en las orillas o dentro de sitios cultivados (arvense) (Casas *et al.*, 2001; Mione y Anderson, 2017); mientras que la segunda, dentro de dichos sitios (Williams, 1985; Coe, 1997), donde son toleradas y cuyo proceso de selección artificial *in situ*, ha implicado un incremento de fenotipos deseables pero los cuales, aún tienen la capacidad de sobrevivir y reproducirse sin la intervención del ser humano, por lo que, se les considera en un estado incipiente de domesticación (Casas *et al.*, 1996) o semi-domesticación cuyos frutos son recolectados más que cosechados, crecen de manera natural en los terrenos de

cultivo, no están sometidos a prácticas de cultivo intensivo y el conocimiento sobre sus ciclos biológicos o prácticas agronómicas está poco entendido (KC *et al.*, 2017). Las poblaciones aún muestran variabilidad genética debido a la mutación aleatoria, el flujo génico y la selección natural (Gellatly y Dennis, 2011); por lo que la estructura genética está dada por la proporción de los diferentes genotipos presentes (Picó *et al.*, 2008). Los frutos colectados se consumen en fresco o a través de algunas preparaciones (Davis y Bye, 1981; Williams, 1985; Mione, 2018, Comunicación Personal).

Junto con otras arvenses, *J. procumbens*, se encuentra en riesgo de desaparecer por el uso de herbicidas; en particular, la población decumbente, ya que su presencia es más restringida y además presenta una mayor vulnerabilidad a dicho agroquímico (Williams, 1985; Coe, 1997).

En general, estas plantas se consideran malezas, perjudiciales a los cultivos de importancia económica, por lo que se busca eliminarlas. No obstante, en el contexto biológico y de la agricultura tradicional mexicana, se consideran recursos importantes. Algunos de sus beneficios son: control de la erosión, preservación de insectos benéficos, fuente de forraje, medicamento o alimento (Albino-García *et al.*, 2011). Entre las especies estudiadas, algunas resaltan por su importancia en el aporte de nutrientes para el ser humano (Williams, 1985; Mera *et al.*, 2013; Carballo *et al.*, 2013).

Algunos estudios que se han realizado sobre *J. procumbens*, reportaron importante contenido de nutrientes y componentes benéficos (Williams, 1985; Laferriere *et al.*, 1991; Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016; Mera-Ovando *et al.*, 2003). Por lo que, se considera viable para su futuro aprovechamiento al cumplir con los siguientes criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (Sarukhán, 2020, Comunicación Personal):

1. Plantas directamente comestibles por el hombre;
2. Plantas de alto valor nutricional;
3. Plantas que no requieren de procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización;
4. Plantas que, de preferencia, sean nativas de México.

No obstante, hasta el momento no se cuenta con información sobre caracteres de interés agronómico, que permitan valorar su potencial.

Por lo anterior, el objetivo fue evaluar caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizó durante los meses de julio a diciembre de 2019, se suministró agua y nutrimentos vía riego por goteo sin recirculación de la solución nutritiva.

2.4.1 Material genético

Se evaluaron dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente, originarias de Tlaxcala, México (19° 15' N y 97° 53' O, a 2500 m de altitud) zona con clima predominante templado subhúmedo C(w1) y C(w2); temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Se utilizaron frutos colectados en el año 2015, en estado maduro, a los que se les dio el siguiente manejo: se extrajo la semilla y se enjuagó con agua de la llave; después, se secaron bajo la sombra a temperatura ambiente; finalmente, se almacenaron en frascos de plástico de 30 mL y se mantuvieron en condiciones de refrigeración a 4 °C.

2.4.2 Manejo de experimento

El material vegetal se obtuvo de un experimento previo para romper la latencia de la especie. Se utilizó una cámara de germinación con condiciones diurnas (12 h a 30 °C) y nocturnas (12 h a 20 °C). El procedimiento fue el siguiente:

Las plántulas, se transfirieron a vasos de plástico de 24 mL con turba como sustrato y se regaron con agua destilada. Después, con las primeras hojas verdaderas, se colocaron en invernadero, con malla sombra 40 % y se regaron con agua de la llave (pH 7,7 y CE 0,5 dS m⁻¹). Luego, se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL, con una mezcla de tezontle rojo como sustrato (4 a 10 mm); se regó con solución nutritiva Steiner a 1 dS m⁻¹ de CE hasta alcanzar una altura de 15 cm.

El trasplante final se realizó a los cuarenta días después de la siembra. Se utilizaron bolsas de polietileno negro 40 x 40 (13 L), con tezontle rojo como sustrato (diámetro ≤ 12 mm, densidad de 0.78 g cm^{-3} , y 21.87 % de retención de humedad). Se realizó amarre de tallos principales con cordel usado para sujetar plantas de tomate, el cual se ubicó alrededor de dichos tallos y ramificaciones conforme avanzó el crecimiento de la planta; el cordel se sujetó en alambre galvanizado fijado a la estructura del invernadero.

Se aplicaron tres concentraciones de solución nutritiva Steiner con micronutrientes: 1, 2 y 3 dS m^{-1} , dosificadas desde el trasplante; el volumen de riego aplicado diariamente fue de 0.23 a un litro por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento.

El pH se mantuvo en el intervalo de 5.5 a 6.5. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitorearon con un equipo portátil (Combo Waterproof HI-98129).

Para el manejo de poda, se aplicaron los tratamientos con poda (CP) y sin poda (SP). En las plantas podadas se eliminaron brotes laterales y basales, permitiendo la ramificación normal de la planta.

Se presentaron plagas como escarabajo pulga de la papa (*Epitrix cucumeris*), trips (*Thysanoptera* sp.), chinche fétida verde (*Acrosternum hilare*) y marrón (*Euschistus servus*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y pulgón (*Aphididae* sp.). También patógenos como cenicilla (*Oidium* sp.) y Cercospora. En el caso del gusano soldado, se eliminó de manera manual; para los demás patógenos y plagas se utilizó: mancozeb (3.5 g L^{-1}), abamectina (3 mL L^{-1}) y bicarbonato de sodio (20 g L^{-1}).

2.4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta, con un total de 48 unidades experimentales.

2.4.4 Variables evaluadas

Altura de planta y diámetro de tallo

La altura de planta (AP) y diámetro de tallo (DT) se registraron a los 156 días después del trasplante (ddt), cuando el 50 % de las plantas detuvo su crecimiento. La altura se midió en cm,

con una cinta métrica, desde la base del tallo principal hasta la punta. El DT se registró con un vernier graduado en mm, donde se ubican los cotiledones.

Número de hojas

El número de hojas (NH) se obtuvo del total de hojas por planta desde la base hasta la punta de la misma.

Número de racimos

El número de racimos (NR) se contabilizó por planta, al sumar el total de racimos con flores desarrolladas.

Número de flores por racimo y frutos por racimo

El número de flores por racimo (FLR) y los frutos por racimo (FR) se contabilizaron, por unidad experimental, en cuatro racimos seleccionados al azar. En FLR, se contaron el número de flores desarrolladas. Para FR, en la población erguida, se registró cuando el fruto alcanzó en su totalidad el color azul-negruzco. Para la decumbente, se presentaron problemas de desprendimiento de fruto en estado maduro; por lo tanto, se contabilizaron cuando el fruto alcanzó un tamaño mínimo de 0.5 cm de diámetro ecuatorial.

Frutos totales

Los frutos totales (FT) se determinaron con el número de racimos (NR) y los frutos por racimo (FR), debido a los problemas de desprendimiento de fruto mencionados.

Peso de fruto

El peso del fruto (PF) se determinó en cada unidad experimental al obtener el peso promedio (g) de veinticinco frutos con madurez fisiológica seleccionados al azar.

Rendimiento por planta

El rendimiento por planta (REND) se estimó en gramos con el número de frutos totales y el peso del fruto.

Lecturas SPAD

Las lecturas SPAD se utilizan para medir la intensidad del color verde de las hojas. El acrónimo SPAD viene del inglés Soil Plant Analysis Development, nombre del proyecto desarrollado por la empresa Minolta. Para obtener una lectura promedio se tomaron lecturas en cuatro hojas opuestas recién expandidas, a los 67 ddt. Se utilizó el SPAD-502.

2.4.5 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó los análisis de homogeneidad de varianzas y normalidad. En las variables que no cumplieron con los supuestos estadísticos, se transformaron los datos con base en la raíz cuadrada. Los resultados se analizaron con el programa estadístico SAS Institute Inc. (2002) versión 9.0; se realizó análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 x 3 x 2 completamente al azar, una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) y análisis de correlación.

2.5 RESULTADOS

Población y poda afectaron todas las variables excepto las lecturas SPAD para población y, lecturas SPAD y diámetro del tallo (DT) para poda; por el contrario, la conductividad eléctrica (CE) sólo influyó en DT ($P \leq 0.05$). Los valores más altos de coeficientes de variación se detectaron en frutos por racimo (FR) (20.33 %), peso del fruto (PF) (21.71 %), número de racimos (NR) (23.47 %), rendimiento por planta (REND) (34.06 %) y frutos totales (FT) (39.83 %).

En la interacción Población x poda se presentaron diferencias estadísticas en PF y REND, lo cual indicó que, para dichas variables, el efecto de la poda no fue el mismo dentro de cada población.

La población erguida, excepto en PF, presentó los valores más altos en todas las variables (Cuadro 2.1). Fue superior en: 45.82 % para altura de planta (AP), 37.31 % para DT, 148.56 % para número de hojas (NH), 92.95 % para NR, 28.74 % para flores por racimo (FLR), 35.49 % para FR, 118.33 % para FT y 62.45 % para REND. En lecturas SPAD no hubo diferencias estadísticas entre poblaciones, pero la tendencia fue la misma, con el valor más alto en la población erguida. Para PF, la población decumbente fue superior en 60.29 %.

Cuadro 2.1. Comparación de medias para caracteres agronómicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivados en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

	Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de hojas	Número de racimos	Flores por racimo
Población					
Erguida	177.64 a [†]	15.53 a	395.54 a	264.30 a	4.39 a
Decumbente	121.82 b	11.31 b	159.13 b	136.98 b	3.41 b
CE (dS m ⁻¹)					
1	158.92 a	12.44 b	241.47 a	174.74 a	3.75 a
2	148.52 a	13.36 ab	267.65 a	193.49 a	4.20 a
3	141.75 a	14.48 a	258.64 a	219.43 a	3.73 a
Poda					
CP	185.58 a	13.23 a	207.47 b	93.27 b	4.30 a
SP	113.88 b	13.62 a	309.19 a	335.03 a	3.50 b
	Frutos por racimo	Frutos totales	Peso de fruto	Rendimiento	Lecturas SPAD
Población					
Erguida	4.81 a	1232.70 a	1.36 b	1558.90 a	60.65 a
Decumbente	3.55 b	564.60 b	2.18 a	959.60 b	58.40 a
CE (dS m ⁻¹)					
1	4.49 a	892.90 a	1.85 a	1364.30 a	58.68 a
2	4.11 a	830.90 a	1.81 a	1201.20 a	59.90 a
3	3.94 a	972.30 a	1.64 a	1212.20 a	59.99 a
Poda					
CP	4.59 a	534.30 b	2.22 a	947.60 b	59.43 a
SP	3.77 b	1263.10 a	1.32 b	1570.80 a	59.62 a

CE: conductividad eléctrica; CP: con poda; SP: sin poda. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para conductividad (CE), con el cultivo a 3 dS m⁻¹, se presentó el mayor DT, superior a 1 dS m⁻¹ en 16.40 % (Cuadro 2.1). Para las demás variables se detectaron tres tendencias: en la primera, AP, FR y PF disminuyeron conforme aumentó la CE, en la segunda, al aumentar la CE aumentaron el DT, NR y las lecturas SPAD, en la tercera, con el cultivo a 2 dS m⁻¹ se obtuvieron los valores más altos en NH y FLR.

En el factor poda para AP, FLR, FR y PF, el tratamiento con poda (CP) registró valores más altos que SP en 62.96, 22.86, 21.75 y 68.18 %, respectivamente (Cuadro 2.1). Por el contrario,

con el manejo sin poda (SP) se registraron los mayores valores en NH, NR, FT y REND, superiores en 49.03, 259.20, 136.40 y 65.77 %, respectivamente. Para DT y lecturas SPAD, los valores aumentaron con el tratamiento SP, aunque no hubo diferencias estadísticas.

Se observó en la población erguida una constante ramificación en ambos tipos de manejo (CP y SP). En contraste, en la decumbente bajo el manejo CP no se observó dicho comportamiento (Figuras 2.1a y 2.1b).

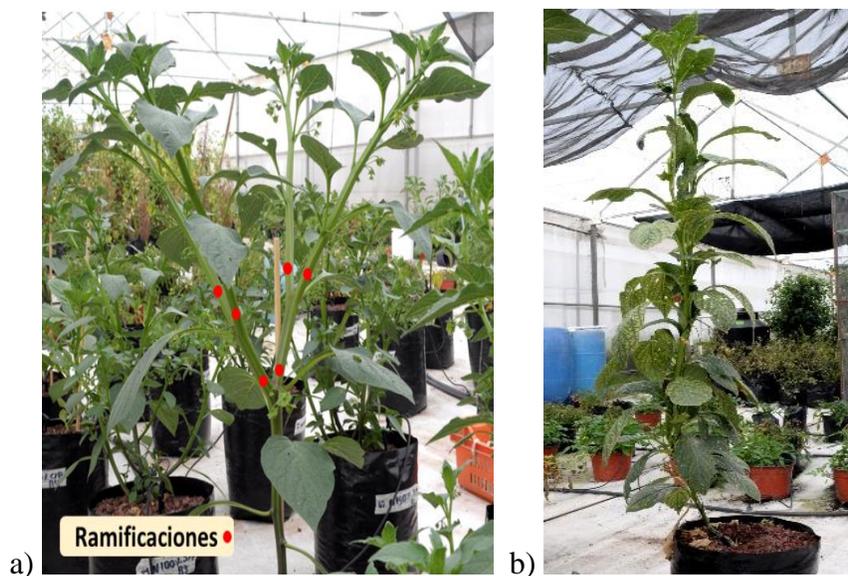


Figura 2.1. a) Ramificación de tallos en la población erguida de *J. procumbens*, con tratamiento con poda (Imagen tomada a los 45 días después del trasplante (ddt)); b) Efecto del tratamiento con poda en la población decumbente de *J. procumbens* (Imagen tomada a los 117 ddt). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 2019.

En las combinaciones población x CE, se encontró que una CE de 3 y 1 dS m^{-1} promovieron el desarrollo para ambas poblaciones en AP y REND, respectivamente (Figura 2.2). Estos mismos niveles de CE, en la población erguida, favorecieron el DT y PF; por el contrario, en estas variables para la decumbente, los valores más altos se obtuvieron con 2 dS m^{-1} .

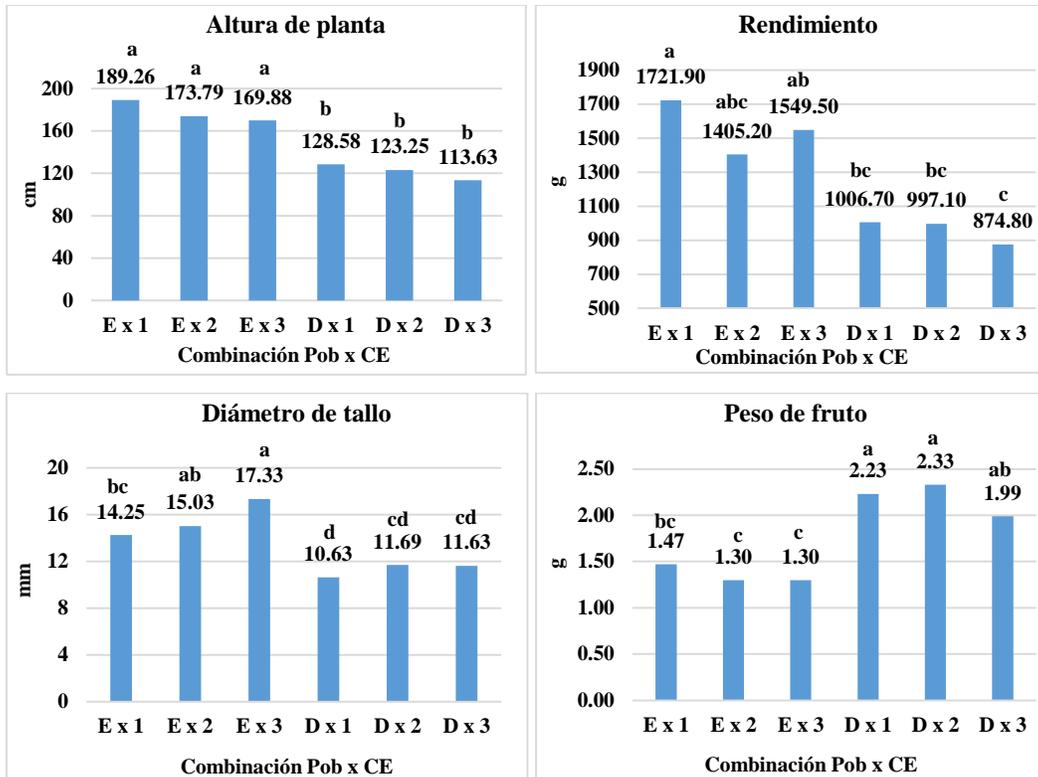


Figura 2.2. Efecto de la combinación Población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de *J. procumbens*. Ex 1: erguida x 1 dS m⁻¹; Ex 2: erguida x 2 dS m⁻¹; Ex 3: erguida x 3 dS m⁻¹; Dx 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; Dx 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; Dx 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 ddt. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la interacción CE x poda (Figura 2.3), el manejo CP o SP en combinación con 3 dS m⁻¹, favoreció AP y DT. En PF, el valor más alto se registró con el cultivo a 2 dS m⁻¹ y tratamiento CP; mientras que el tratamiento SP y 1 dS m⁻¹ favoreció el REND.

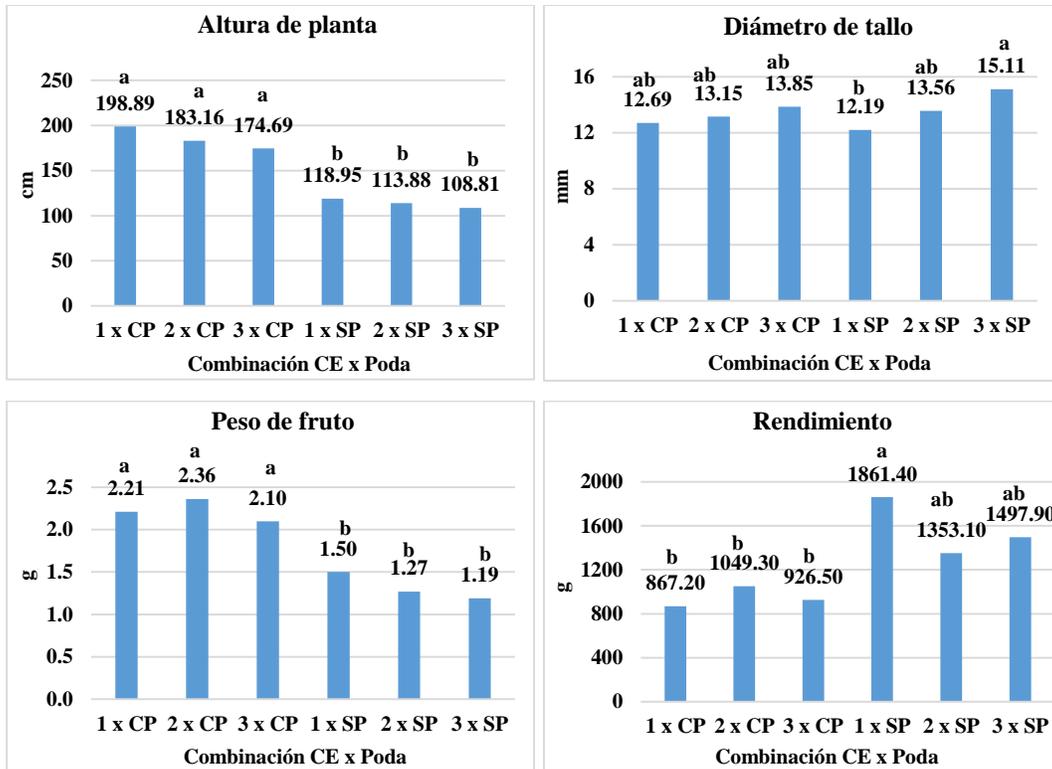


Figura 2.3. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de *J. procumbens*. 1 x CP: 1 dS m⁻¹ x con poda; 2 x CP: 2 dS m⁻¹ x con poda; 3 x CP: 3 dS m⁻¹ x con poda; 1 x SP: 1 dS m⁻¹ x sin poda; 2 x SP: 2 dS m⁻¹ x sin poda; 3 x SP: 3 dS m⁻¹ x sin poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para población x poda (Figura 2.4), sobresalió el manejo SP para ambas variantes en AP, DT y REND; mientras que para PF, la mejor combinación fue con el manejo CP.

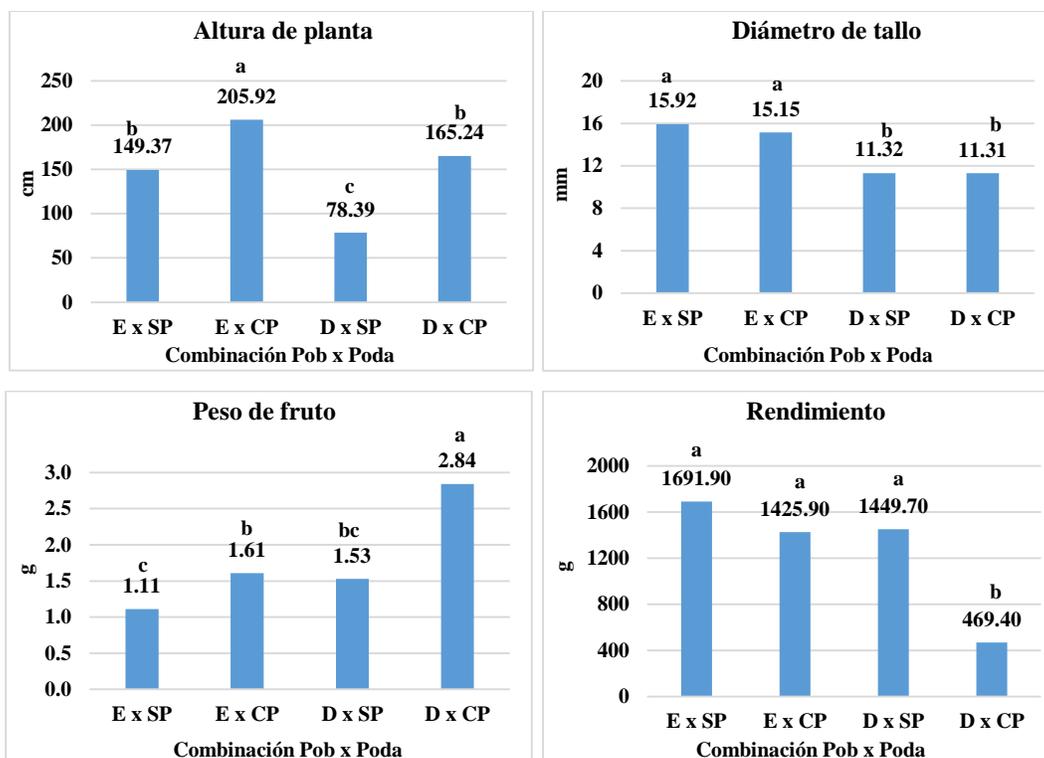


Figura 2.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en altura de planta, diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento, de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x SP: erguida x sin poda; E x CP: erguida x con poda; D x SP: decumbente x sin poda; D x CP: decumbente x con poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del transplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

2.6 DISCUSIÓN

Se registró una altura de planta promedio de 121.82 cm para la población decumbente y de 177.64 cm, para la erguida. Esta variable es importante si se quiere cultivar una planta en condiciones de invernadero, ya que un porte menor permite reducir el uso de mano de obra y el riesgo de dañar tallos, durante el amarre (Pilatti y Bouzo, 2000; Juárez-López *et al.*, 2012). Además, si se toman como referencia especies de importancia económica como *Solanum lycopersicon* L., cultivada bajo invernadero y para la cual, Juárez-López *et al.* (2012) mencionaron que en variedades de crecimiento indeterminado dicha variable es importante por los aspectos mencionados, las poblaciones de *J. procumbens* evaluadas, presentaron un buen comportamiento al registrar una altura promedio menor a la reportada para poblaciones nativas de *S. lycopersicon* L. (139.80 – 228.10 cm) (Flores-González *et al.*, 2012) e híbridos comerciales como Sun-7705 (142.20 cm) y H-790 (163.10 cm) (Juárez-López *et al.*, 2012).

La poda fue determinante para registrar valores de AP mayor a los observados en su ambiente natural para: población erguida (120 cm) y población decumbente (80 cm) con máximas de 236.70 cm y 231.70 cm (Coe, 1997; Williams, 1985). No obstante, esto no fue un problema para el manejo de la planta. En cambio, en la población erguida, debido a la constante ramificación presentada (Figura 2.1a), en el manejo con y sin poda, se dificultó el amarre de tallos, principalmente en el segundo tratamiento. En contraste, en la población decumbente en el manejo CP no se presentó dicho problema. La poda es un aspecto importante en plantas cultivadas en sistemas hidropónicos, ya que sin una poda regular, puede presentarse un crecimiento excesivo, muy difícil de manejar; además, el sistema de raíces no es tan fuerte en hidroponía como en un cultivo en suelo, por lo que la planta no es capaz de soportar cargas pesadas. Debido al alto costo por metro cuadrado del cultivo en agricultura protegida, la poda es importante para un uso eficiente de la infraestructura, para con ello lograr altas densidades de plantación y obtener productos de calidad (Singh y Dunn, 2017).

La altura de planta correlacionó con flores por racimo ($r = 0.68$), frutos por racimo ($r = 0.60$) y diámetro de tallo ($r = 0.42$). Lo que indicó que, a una mayor altura, se induce la generación de estructuras reproductivas y tallos más gruesos para favorecer el anclaje de la planta y sostener ramas y racimos (Vallejo *et al.*, 1994).

El diámetro de tallo (DT) registrado en el manejo con poda, mostró los máximos valores de hasta 20.70 y 13.38 mm en las poblaciones erguida y decumbente, respectivamente; sin embargo, el mayor DT promedio se registró en el tratamiento sin poda (13.62 mm), respuesta que se atribuye a la necesidad de la planta de almacenar una mayor cantidad de fotosintatos, para mantener la alta producción de sitios de demanda. El DT, es un indicador del vigor de la planta, que refleja la acumulación de compuestos de reserva que pueden ser traslocados a dichos sitios (Preciado *et al.*, 2002).

Los valores de DT obtenidos, fueron similares a los que se han encontrado en poblaciones nativas de *Solanum lycopersicon* L. (10.3 – 20.99 mm) e híbridos comerciales (14.04 – 18.1 mm) (Flores-González *et al.*, 2012; Juárez-López *et al.*, 2012; Velasco-Alvarado *et al.*, 2017). El DT correlacionó de manera positiva con frutos totales (FT) ($r = 0.45$) y negativa con peso de fruto (PF) ($r = -0.47$), es decir, un mayor DT permite sostener la alta producción de frutos pero con menor

peso, pues los fotoasimilados almacenados no son suficientes para abastecer la demanda de todos los frutos en el proceso de llenado.

El manejo con poda (CP), redujo el NH. La población erguida registró 332.15 hojas, 24.32 % menos en comparación con el manejo SP, que tuvo 438.90 hojas. En la decumbente se registraron 112.00 hojas en promedio, 44.60 % menos con respecto a las 202.15 hojas obtenidas SP. No obstante, se observó un tamaño de hoja mayor (datos no registrados), lo que compensó la pérdida de área foliar. El número de hojas (NH) es un indicador del área foliar en donde una mayor área permite una mayor producción de esqueletos carbonados, que serán utilizados en las diferentes estructuras de la planta o almacenados en el tallo (Preciado *et al.*, 2002).

La tendencia registrada en NH con poda, también se observó en NR. La población erguida registró 164.35 racimos, 57.62 % menos en comparación con el manejo SP que obtuvo 387.85 racimos. En la decumbente, se observó un efecto mayor al registrar 42.17 racimos CP, 85.26 % menos en comparación SP (286.05 racimos). En este trabajo, se observó que, iniciada la emergencia de racimos, por cada nudo la planta emite un racimo, por lo tanto, la eliminación de brotes laterales y basales generó tal respuesta, ya que las ramificaciones no fueron suficientes para compensar los brotes eliminados en la población decumbente que presentó una baja ramificación (Figura 2.1b). De esta manera, el número de racimos se relacionó de manera positiva con el NH ($r = 0.73$).

Para el caso del número de flores por racimo (FLR) y frutos por racimo (FR), el manejo con poda influyó de manera positiva. Para la primera variable, la población erguida obtuvo 17.08 % más en comparación con SP (4.04 FLR); la decumbente, tuvo 3.88 FLR con el manejo CP, 31.97 % más con respecto a SP. Para FR, la población erguida con poda (5.44 frutos) obtuvo 29.83 % más de FR que sin poda; en la decumbente, el efecto fue menor entre ambos tipos de manejo, CP (3.75 frutos), fue 11.94 % mayor que SP. Esta fue una tendencia similar a la mencionada por Mbonihankuye *et al.* (2013) quienes reportaron que una poda severa incrementó el número de FLR y FR en híbridos de *Solanum lycopersicon* L. Estas variables se relacionaron de manera positiva ($r = 0.46$) así, al incrementar el número de flores por racimo aumentó el número de frutos por racimo.

El menor número de racimos (NR) influyó en el número de FT y por consiguiente, en el rendimiento por planta (REND). Lo cual coincide con lo observado por Meneses-Buitrago *et al.* (2019) en cocoa (*Theobroma cacao* L.), en donde las plantas podadas requieren la generación de ramas secundarias y terciarias, para compensar la pérdida de estructuras florales que darían lugar a frutos; condición similar a la observada en este trabajo, cuyas plantas podadas no tuvieron las suficientes ramificaciones para compensar las estructuras florales eliminadas.

El mayor PF expresado con el manejo CP (erguida = 1.6 g; decumbente = 2.84 g) compensó el bajo número de frutos totales producidos, lo que redujo la diferencia del REND registrado entre ambos tipos de manejo. En la población erguida, en el manejo CP se obtuvieron 906.2 FT y 1425.9 g planta⁻¹ de REND, lo cual fue 41.88 y 15.72 % menor en comparación con SP; para la decumbente, la reducción CP en FT (162.4) fue del 83.2 %, y en REND (469.4 g planta⁻¹) fue del 67.62 %, en comparación con SP. El número de FT correlacionó de manera negativa con PF ($r = -0.74$) y positiva con REND ($r = 0.85$). La relación negativa con PF, indica el efecto positivo del tratamiento CP para obtener frutos más grandes y de mayor peso, lo cual coincide con la tendencia observada por Mbonihankuye *et al.* (2013) y Sultana *et al.* (2016) para cultivares de *Solanum lycopersicon* L. El uso de poda promueve el balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo e induce la remoción de sustancias de reserva, con la finalidad de controlar la dirección y cantidad de crecimiento, y la calidad del fruto (Ponce-Valerio *et al.*, 2011).

Con respecto al peso de fruto, en relación con variedades de arándano (*Vaccinium* sp.) cuyo fruto presenta características similares a *J. procumbens* en cuanto a tamaño, peso y forma de aprovechamiento en fresco, como fruta, su peso promedio (erguida = 1.36 g fruto⁻¹; decumbente = 2.18 g fruto⁻¹) se ubicó entre lo reportado por Zapata *et al.* (2013) para variedades como Emerald, Jewel, Misty, O'Neal y Snowchaser, quienes reportaron un intervalo de 1.25 y 2.01 g fruto⁻¹. Por lo tanto, en *J. procumbens*, existe la posibilidad de obtener frutos de mejor calidad en peso sin mermar el rendimiento.

El efecto de la conductividad eléctrica (CE) en variables como AP, FLR, FR y PF, presentó la tendencia que, a mayor CE se registraron valores más bajos. Esto concuerda con lo reportado por Dorai *et al.* (2001), Goykovic y Saavedra del Real (2007) y Marchese *et al.* (2008), quienes mencionaron que a mayor CE se afecta en forma negativa el desarrollo de la planta en dichas variables al disminuir los valores registrados.

El diámetro de tallo incrementó al aumentar la CE, lo cual podría explicarse por una mayor concentración de N y K en la solución nutritiva, promoviendo un mayor desarrollo en esta estructura, ya que una mayor disponibilidad de N causa un desarrollo vegetativo excesivo, acumulándose este elemento en tallos y hojas; por su parte, el K, involucrado en el crecimiento y expansión celular, juega un papel esencial en el desarrollo de la planta, al contribuir a la generación de estructuras más grandes (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Osakabe *et al.*, 2013; Leghari *et al.*, 2016).

Para el caso del NH, se observó la misma respuesta que en DT al incrementar la CE de 1 a 2 dSm⁻¹; sin embargo, al nivel de 3 dS m⁻¹ se registró una reducción en esta variable, aunque se mantuvo superior al nivel más bajo de CE, lo cual indica que la especie empezó a tener problemas de tolerancia a la salinidad después de 2 dS m⁻¹. La tolerancia a la salinidad depende de la especie o cultivar y de los niveles a los que son sometidas las plantas (Goykovic y Saavedra del Real, 2007). Este efecto coincide con lo reportado en *Solanum lycopersicon* L. por Bustomi *et al.* (2014), donde a partir de una CE de 3 dS m⁻¹ se disminuyó el número de hojas. En el cultivo de fresa también se reportó un comportamiento similar, donde una CE de hasta 1.6 dS m⁻¹ aumentó el NH, en cambio, se redujo a partir de 1.8 dS m⁻¹ (Bagale, 2018; Gallace *et al.*, 2017). Esta respuesta a la CE, podría ser consecuencia del estrés hídrico generado en la planta al incrementar la concentración de nutrientes en la zona radicular y, por lo tanto, una reducción de caracteres vegetativos según (Bagale, 2018).

El rendimiento se vio afectado al incrementar la CE. En la población erguida se presentó el mayor efecto al disminuir en promedio 16.84 %; mientras que en el decumbente la reducción fue del 8.02 %. Un comportamiento similar fue observado por Bagale (2018) en fresa, en donde al aumentar la CE disminuyó el rendimiento; por el contrario, Bustomi *et al.* (2014), en el cultivo de *Solanum lycopersicon* L., observaron un aumento constante en el REND con una CE de 1 a 3 dS m⁻¹, pero una reducción a una CE mayor. Lo anterior sugiere que el efecto de la CE está determinado por el material genético, ya que entre especies y entre variedades de la misma especie, se puede observar una respuesta diferencial a la salinidad (Dorai *et al.*, 2001; Navarro *et al.*, 2006; Villarreal *et al.*, 2002).

En lecturas SPAD, los valores más altos se registraron en población erguida (60.65), manejo SP (59.62) y 3 dS m⁻¹ de CE (59.99), pero sin ser estadísticamente diferentes a los otros

niveles. Las lecturas SPAD permiten determinar el verdor y el contenido relativo de clorofila, con una lectura en una unidad arbitraria que es proporcional a la concentración de clorofila en la hoja (Jiang *et al.*, 2017), en donde la disponibilidad de nutrimentos es importante. En el factor CE, se observó que al incrementar el nivel de este aumentaron las lecturas SPAD. Dicha tendencia es similar a lo observado por Ding *et al.* (2018) en *Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*, estos autores mencionaron que este comportamiento podría estar determinado por una deficiencia en las CE más bajas de nutrientes como N, Mg y Fe, ya que estos juegan un papel importante en la biosíntesis de clorofila, de ellos, sobresale la función del Fe cuya deficiencia perturba la síntesis de clorofila.

2.7 CONCLUSIONES

Para ambas poblaciones de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry., su cultivo en condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en caracteres agronómicos de altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto.

Se observó una variabilidad dentro y entre poblaciones para poda y conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, resultados relacionados con variación genética al estar en etapa intermedia de domesticación.

La altura de planta fue favorable para el amarre de tallos principales y ramificaciones y posterior sujeción en el alambre galvanizado fijado a la estructura del invernadero, a pesar de obtener plantas de hasta 2 m de alto.

Se observó el efecto favorable del manejo con poda, al obtener un tamaño y peso de fruto mayor, que compensó el menor número de frutos generados bajo dicho tratamiento, además, facilitó el manejo de la planta para su amarre.

Las poblaciones mostraron vigor en el desarrollo reflejado en altura de planta y diámetro de tallo. Se tomó como referencia a *Solanum lycopersicon* L., especie de la misma familia y de valor comercial, cultivada en invernadero e hidroponía.

La ramificación presentada en ambas poblaciones, con y sin poda en la erguida y sin poda en la decumbente, dificultó el amarre de tallos.

El control de plagas y patógenos, presentadas por la falta de control al compartir el espacio con otros usuarios del mismo invernadero y el acomodo de ramificaciones, se dificultó en plantas con manejo sin poda. Dicho manejo, también dificultó la cosecha, por el follaje exuberante y menor tamaño de fruto generado.

CAPÍTULO III. CARACTERES FENOLÓGICOS DE DOS POBLACIONES DE

Jaltomata procumbens (CAV.) J. L. GENTRY¹

3.1 RESUMEN

Caracteres fenológicos como floración, fructificación, maduración y cosecha, son importantes para determinar la viabilidad de una especie para su aprovechamiento agronómico, ya que las condiciones climáticas asociadas al sistema de cultivo y tecnología empleada influyen en su adaptación y producción. *Jaltomata procumbens*, de uso alimenticio y que presenta dos poblaciones, erguida y decumbente, es considerada una especie semidomesticada que cumple con los criterios para su futuro uso. El objetivo de la investigación fue evaluar caracteres fenológicos de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía. Esta se realizó en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de julio a diciembre de 2019. Se aplicaron tres tratamientos en un sistema hidropónico abierto: dos poblaciones (erguida y decumbente); tres niveles de conductividad eléctrica (CE): 1, 2 y 3 dS m⁻¹; dos niveles de poda (con y sin poda). Las variables evaluadas fueron: días a botón floral (DBF), floración (DFL), fructificación (DFR) y cosecha (DC). Se observó una variabilidad dentro y entre poblaciones para poda y CE; la combinación del cultivo sin poda y 2 dS m⁻¹ de CE favoreció la precocidad en DBF, DFL y DFR; por el contrario, con poda y el cultivo con CE bajas de solución nutritiva, incrementó la precocidad en DC. Sin embargo, la población erguida fue más precoz respecto a la decumbente en todas las variables. Los resultados obtenidos pueden estar relacionados con algún grado de variación genética, al ser poblaciones en etapa intermedia de domesticación.

Palabras clave: recursos nativos, semidomesticada, agricultura protegida, hidroponía.

3.2 ABSTRACT

Phenological characters as flowering, fructification, ripening and harvesting, are important to determine the species viability for agronomical purposes, because climatological conditions associated with the crop system and technology used, may influence its adaptation and yield. *Jaltomata procumbens*, used as food and presenting two populations, erect and decumbent, is considered as a semidomesticated species achieving the criteria for its future use. The objective of

¹ Artículo preparado con base en el formato de la Revista Chapingo Serie Horticultura

this research was to evaluate phenological characters of *J. procumbens*, under greenhouse and hydroponic conditions. The investigation was carried out in the Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de Mexico, from July to December 2019. Three treatments in an open hydroponic system were applied: two populations (erect and decumbent); three electrical conductivity levels (EC): 1, 2 and 3 dS m⁻¹; two pruning levels (pruned and without pruning). Days to flower bud (DBF), flowering (DFL), fructification (DFR) and harvesting (DC) were evaluated. A variability within and between populations for pruning and CE effects were observed; the combination without pruning and 2 dS m⁻¹ of EC favored precocity for DBF, DFL and DFR; on the contrary, pruning and growing with low EC of nutrient solution increased precocity for DC. However, erect population was earlier than decumbent population in all variables. The results obtained may be related to some degree of genetic variation, as *J. procumbens* are semidomesticated populations.

Keywords: native resources, semidomesticated species, protected agriculture, hydroponics

3.3 INTRODUCCIÓN

La fenología estudia las etapas del ciclo biológico de los organismos, especialmente su sincronización conforme cambia el tiempo y el clima. Los datos obtenidos por estudios fenológicos, permiten conocer la interdependencia del organismo dentro de contextos ambientales específicos; ya que cada organismo desarrolla comportamientos únicos que están sincronizados con variaciones de luz, temperatura y agua, bajo diferentes condiciones climáticas (Liang, 2019).

Las poblaciones de la especie *J. procumbens* (Cav.) J. L. Gentry bajo estudio, de hábito de crecimiento erguido y decumbente, que provienen de un clima templado-frío, están vinculadas al sistema agrícola tradicional, denominado “milpa”, caracterizado por la asociación de cultivos como maíz, calabaza y frijol (Novotny *et al.*, 2021); donde también, son auspiciadas especies silvestres con algún grado de adaptación a los patrones de manejo de dicho sistema (Altieri, 2016), destinadas principalmente al autoconsumo.

Jaltomata procumbens, es reconocida como una especie semidomesticada, cuyos frutos se recolectan y se consumen principalmente en fresco (Mione, 2018, Comunicación Personal); se considera además, viable para su futuro aprovechamiento al cumplir con los criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (Sarukhán, 2020, Comunicación

Personal): plantas directamente comestibles por el ser humano; de alto valor nutricional; que no requieren de procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización; y que de preferencia, sean nativas de México.

Como parte de los estudios para determinar la viabilidad de una especie para su aprovechamiento agronómico, se encuentran aquellos vinculados a caracteres fenológicos; ya que, condiciones climáticas diferentes a las de su zona de origen, asociadas al sistema de producción y tecnología empleada, van a influir en dichos caracteres y por consiguiente, en su adaptación y producción (Sabino-López *et al.*, 2016).

La información fenológica como floración, fructificación, maduración y cosecha, es importante ya que muchas decisiones en el manejo de una especie se basan en su desarrollo; así también, permite definir la estación de crecimiento en una región dada, al estar dichas características bajo la influencia de factores ambientales, genéticos, poda, disponibilidad de agua, entre otros (Fotirić *et al.*, 2017). Además, permite determinar la precocidad de un cultivo y el inicio de la cosecha; aspectos importantes para considerar una especie con fines de explotación comercial (Salgado-Meraz *et al.*, 2018).

En un estudio sobre biología reproductiva de *J. procumbens*, Flinn (2016) describe un proceso de antesis con tres días de duración; se presenta, al inicio del tercer día con la corola totalmente abierta, una aproximación de las anteras al estigma (estado connivente), proceso que permite asegurar la polinización mediante autopolinización retrasada y, el cuajado del fruto; mecanismo importante, si se quiere producir una especie bajo condiciones de invernadero, debido a la ausencia de polinizadores. Por otro lado, en otro estudio para determinar la heredabilidad de rasgos florales en la misma especie, Mione (2017) observó la maduración del fruto entre cinco a siete semanas después de la polinización, en condiciones de invernadero; sin embargo, el objetivo no fue su evaluación agronómica y no se especifica el tiempo de maduración para el fruto de ambas poblaciones, erguida y decumbente.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar caracteres fenológicos de ambas poblaciones de *J. procumbens*, bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizó durante los meses de julio a diciembre de 2019, suministrando agua y nutrimentos vía riego por goteo sin recirculación de la solución nutritiva.

3.4.1 Material genético

Se evaluaron dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente, procedentes de Tlaxcala, México (19° 15' N y 97° 53' O, a 2500 m de altitud); clima predominante templado subhúmedo C(w1) y C(w2); temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Se utilizaron frutos colectados en el año 2015, en estado maduro, a los que se les dio el siguiente manejo: se extrajo la semilla y se enjuagó con agua de la llave; después, se secaron bajo la sombra a temperatura ambiente; finalmente, se almacenó en frascos de plástico de 30 mL, con tapa rosca, y se mantuvieron en condiciones de refrigeración a 4 °C.

3.4.2 Manejo de experimento

El material vegetal se obtuvo de un experimento previo para romper la latencia de la especie. Se utilizó una cámara de germinación con condiciones diurnas (12 h a 30 °C) y nocturnas (12 h a 20 °C). El procedimiento fue el siguiente:

Las plántulas se transfirieron a vasos de plástico de 24 mL con turba como sustrato y se regaron con agua destilada. Después, con las primeras hojas verdaderas, se colocaron en un invernadero, con malla sombra 40 %, y se regaron con agua de la llave; pH 7.7 y CE 0.5 dS m⁻¹. Posteriormente, se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL, con una mezcla de tezontle rojo como sustrato (4 a 10 mm de diámetro de partícula); se regó con solución nutritiva Steiner a 1 dS m⁻¹ de CE hasta alcanzar una altura de 15 cm.

El trasplante final se realizó a los 40 días después de la siembra. Se utilizaron bolsas de polietileno negro 40 x 40 (13 L), con tezontle rojo como sustrato (diámetro ≤ 12 mm, densidad de 0.78 g cm⁻³, y 21.87 % de retención de humedad). Para el tutoreo se utilizó rafia tomatara con amarre de tallos principales.

Se aplicaron tres concentraciones de solución nutritiva Steiner, con micronutrientes: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, dosificadas desde el trasplante; el volumen de riego aplicado diariamente fue de 0.23 a 1 L por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento. El pH se mantuvo en el intervalo de 5.5 a 6.5. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitorearon con un equipo portátil (Hanna Combo Waterproof HI-98129).

Para el manejo de poda, se aplicaron los tratamientos con (CP) y sin poda (SP). En las plantas podadas, se eliminaron brotes laterales y basales.

3.4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta, con un total de 48 unidades experimentales.

3.4.4 Variables evaluadas

Días a botón floral (DBF)

Se determinó en el primer racimo, se registraron los días después del trasplante (ddt), a la emergencia del primer botón floral.

Días a floración (DFL)

Se determinó en el primer racimo, donde se registraron los días después del trasplante a la apertura total de la primera flor, antes del estado connivente de los estambres.

Días a fructificación (DFR)

Se registraron los días, después del trasplante, al inicio de la formación del fruto en el primer racimo.

Días a cosecha (DC)

Se determinó desde el trasplante a la cosecha del primer fruto en madurez fisiológica.

3.4.5 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó los análisis de homogeneidad de varianzas y normalidad. En las variables que no cumplieron con los supuestos estadísticos, se transformaron los datos aplicando raíz cuadrada. Los resultados se analizaron con el programa estadístico SAS (2008) versión 9.2; se realizó análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 x 3 x 2 completamente al azar y una prueba de Tukey ($P \leq 0.1$).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El factor Población de *J. procumbens* afectó todas las variables. Se presentaron diferencias estadísticas en la interacción conductividad eléctrica (CE) x Poda para DFL, DFR y DC ($P \leq 0.1$); lo que indica, que el efecto de la poda no fue el mismo para cada nivel de CE. Los coeficientes de variación fueron 7.19 % para días a botón floral (DBF), 4.64 % para días a floración (DFL), 4.40 % en días a fructificación (DFR) y 2.76 % para días a cosecha (DC), los cuales son aceptables.

En el factor Población, se obtuvieron diferencias estadísticas ($P \leq 0.1$), en donde, la población erguida fue más precoz respecto a la decumbente en DBF, DFL, DFR y DC en 41.55, 9.54, 6.62 y 7.36 %, respectivamente (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Comparación de medias de caracteres fenológicos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 13 y 87 días después del trasplante (ddt).

	Días a botón floral	Días a floración	Días a fructificación	Días a cosecha
Población				
Erguida	15.91 b [‡]	32.19 b	35.49 b	65.88 b
Decumbente	22.52 a	35.26 a	37.84 a	70.73 a
CE (dS m ⁻¹)				
1	20.21 a	34.69 a	37.58 a	67.34 a
2	18.10 b	32.16 b	35.42 a	68.08 a
3	18.93 ab	34.31 ab	36.99 a	69.43 a
Poda				
CP	19.60 a	33.89 a	36.74 a	67.84 a
SP	18.54 a	33.53 a	36.57 a	68.72 a

CE: conductividad eléctrica; CP: con poda; SP: sin poda. [‡]Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.1$).

Se registraron diferencias estadísticas en CE para DBF y DFL, obteniendo los valores más bajos y altos con 2 y 1 dS m⁻¹ de CE, respectivamente ($P \leq 0.1$); para DFR y DC, no hubo diferencias estadísticas, sin embargo, se observó que altos niveles de CE favorecen la precocidad en DFR y bajos niveles, en DC. En el factor Poda, los datos obtenidos para todas las variables en ambos tipos de manejo, no presentaron diferencias estadísticas; no obstante, se registró que el manejo SP favoreció la precocidad en DBF, DFL y DFR, y en DC el tratamiento CP incrementó la precocidad, al disminuir los días para iniciar esta etapa (Cuadro 3.1).

En la combinación Población x CE, la población erguida cultivada a 2 dS m⁻¹, registró el menor número de DBF y DFL, observándose para la primera variable una mayor diferencia estadística entre poblaciones; para DFR, en dicha población, el menor número de días se observó con una CE de 3 dS m⁻¹ (Figura 3.1). Para la decumbente, la mayor precocidad para dichas variables se registró con una CE de 2 dS m⁻¹.

Finalmente, el menor número de DC, en ambas poblaciones, se favoreció con su cultivo a 1 dS m⁻¹. La precocidad es una característica importante al obtener una cosecha más temprana; deseable en especies cultivadas (Martínez-Vázquez *et al.*, 2016).

Para los diferentes niveles de CE, entre y dentro de poblaciones, se observaron comportamientos diferentes para cada uno de los caracteres fenológicos; atribuibles al material genético, al encontrarse en una etapa intermedia de domesticación; así como también, al efecto de la CE, indicando que dichos caracteres pueden ser afectados por deficiencia o exceso nutrimental (Keller, 2020).

De esta manera, dentro de la población erguida se observó la tendencia que al incrementar la CE, incrementó la precocidad en DBF, DFL y DFR; para la decumbente, en dichas variables, si bien al incrementar la CE de 1 a 2 dS m⁻¹ lo hizo también la precocidad, ésta tiende a disminuir a una CE de 3 dS m⁻¹ (Figura 3.1).

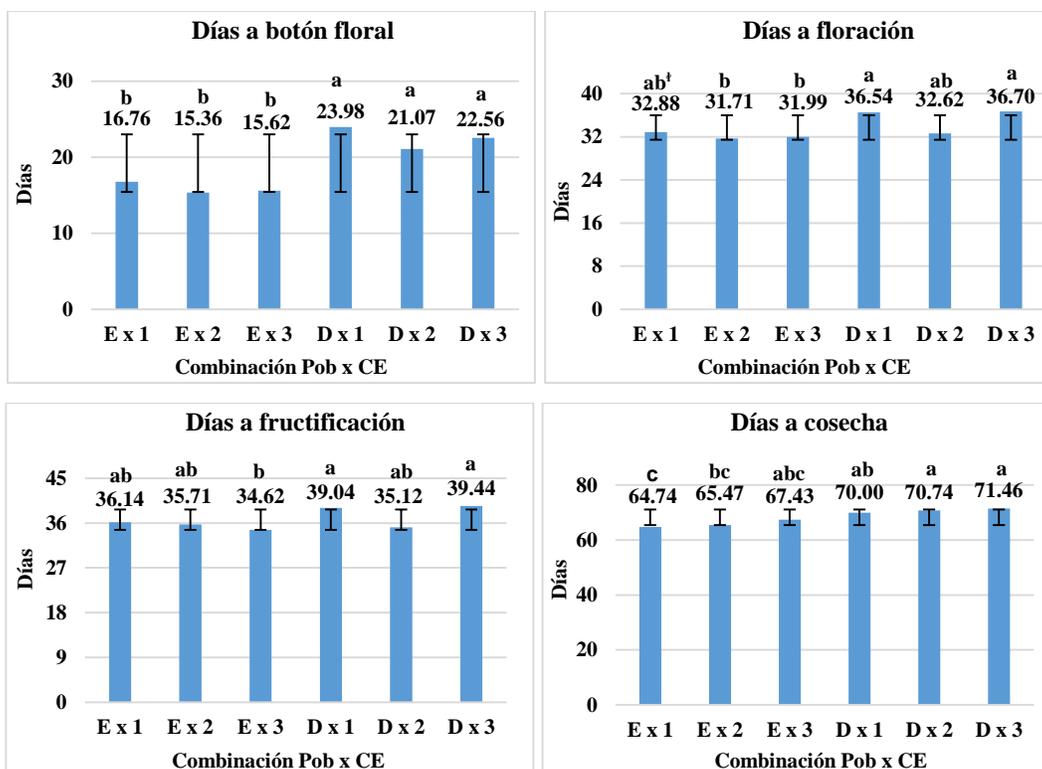


Figura 3.1. Efecto de la combinación Población (Pob) x Conductividad Eléctrica (CE) en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha, de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x 1: erguida x 1 dS m⁻¹; E x 2: erguida x 2 dS m⁻¹; E x 3: erguida x 3 dS m⁻¹; D x 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; D x 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; D x 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 13 y 87 días después del trasplante (ddt). [†]Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.1$).

Por el contrario, para DC dentro de poblaciones, se observó que al incrementar la CE, se retrasó el tiempo a cosecha (2 % dentro de la población decumbente y 4 % para la erguida) sin marcadas diferencias entre la CE más baja (1 dS m⁻¹) y alta (3 dS m⁻¹). Esto indica que, en esta etapa de desarrollo, ambas poblaciones de *J. procumbens* podrían estar expresando una tolerancia al estrés por salinidad; la cual involucra una activación en cascada de modulaciones génicas (Muchate *et al.*, 2016); en donde el ácido abscísico y etileno juegan un papel importante para reducir o eliminar los daños provocados a la planta por el estrés salino (Jing *et al.*, 2018). No obstante, se ha reportado en especies como *Capsicum annuum* L., un incremento de la precocidad en la cosecha al incrementar la salinidad (Amalfitano *et al.*, 2017); esto podría responder al aumento de la respiración y producción de etileno, ocasionado por el estrés debido a un bajo potencial hídrico. Una mayor respiración, responde al ajuste osmótico para reducir la pérdida de agua y mantener la turgencia parcial, implicando un gasto de energía; la producción de etileno,

estimulada por la respuesta a la salinidad, da como resultado que se adelante el inicio de la maduración (Tao *et al.*, 2015). Esto sugiere, que la respuesta a una CE alta depende del genotipo.

El manejo CP favoreció a la población decumbente en DFL, DFR y DC, al mostrar una mayor precocidad; respuesta similar, a la reportada por Mbonihankuye *et al.* (2013) en híbridos de *Solanum lycopersicum* L., donde la poda aceleró la producción de flores, fructificación y maduración del fruto debido a una mayor eficiencia fotosintética (Figura 3.2).

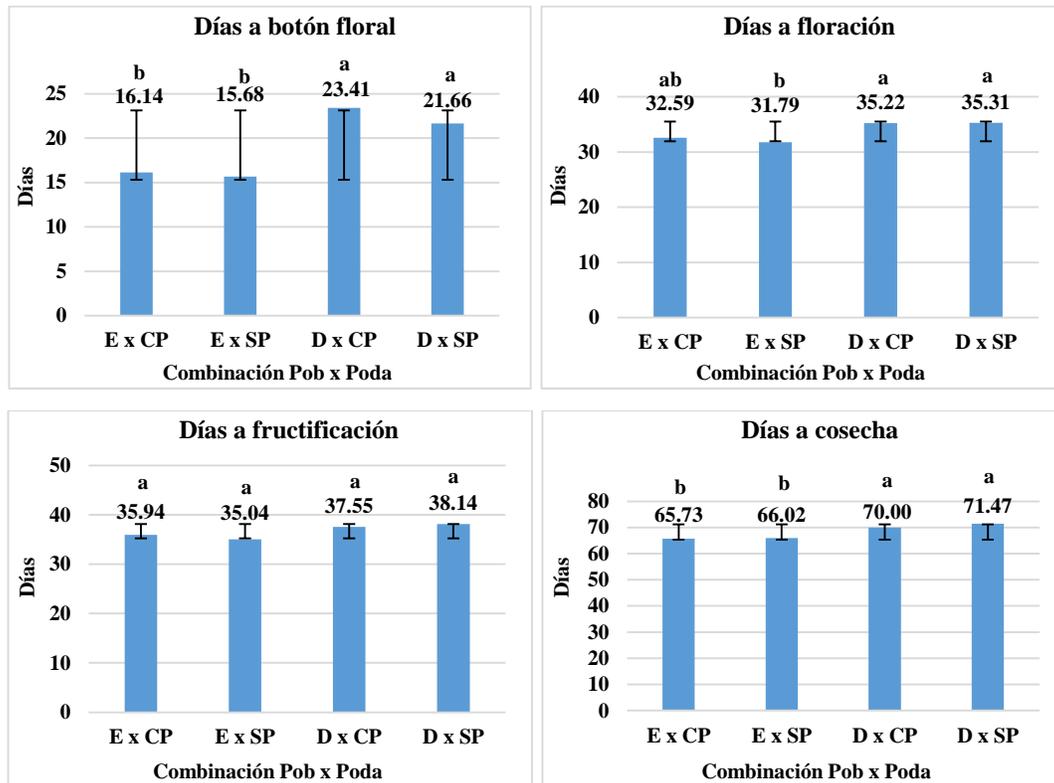


Figura 3.2. Efecto de la combinación Población (Pob) x Poda en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x SP: erguida x sin poda; E x CP: erguida x con poda; D x SP: decumbente x sin poda; D x CP: decumbente x con poda. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 13 y 87 días después del trasplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.1$).

Por el contrario, en la población erguida, el manejo CP aceleró la cosecha. Este comportamiento sugiere que la respuesta al tratamiento está determinada por el grado de variación genética que se pueda estar presentando, al ser poblaciones en una etapa intermedia de domesticación.

Al considerar los días a maduración del fruto después de la polinización, de entre 35 y 49 días observados por Mione (2017), y los resultados obtenidos en este estudio, las poblaciones

erguida y decumbente presentaron un promedio de 33.69 y 35.47 días, respectivamente (datos no registrados).

A pesar de esto, ambas poblaciones tuvieron un comportamiento sobresaliente en las variables evaluadas; tomando como referencia, cultivos como *Solanum lycopersicum* L., que de acuerdo a la variedad y condiciones de cultivo pueden presentar inicios de cosecha de 88 ddt (híbridos Tangerino, Tropical Cherry y Red Cherry, en suelo) (Cordoba *et al.*, 2018) y 103 ddt (híbrido Rebeca en sistema hidropónico) (Barcellos *et al.*, 2018). De igual manera, ambas poblaciones de *J. procumbens*, presentaron una mayor precocidad considerando la especie *Physalis peruviana* L., cultivada en invernadero e hidroponía, para la cual se reportan DBF, DFL, DFR y DC de 43, 57, 64 y 121 ddt, respectivamente (Sabino-López *et al.*, 2016).

En la combinación CE x Poda, se observó una mayor precocidad con el cultivo SP y 2 dS m⁻¹ en DBF, DFL y DFR, siendo más precoz que el cultivo SP y 1 dS m⁻¹ en 22.81 y 17.30 % para DBF y DFL, respectivamente; mientras que, fue más precoz para DFR en 11.75 % respecto al cultivo SP y 3 dS m⁻¹. Para días DC, no se presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, la mayor precocidad se observó con el cultivo SP y 2 dS m⁻¹, al presentar los valores más bajos (Figura 3.3).

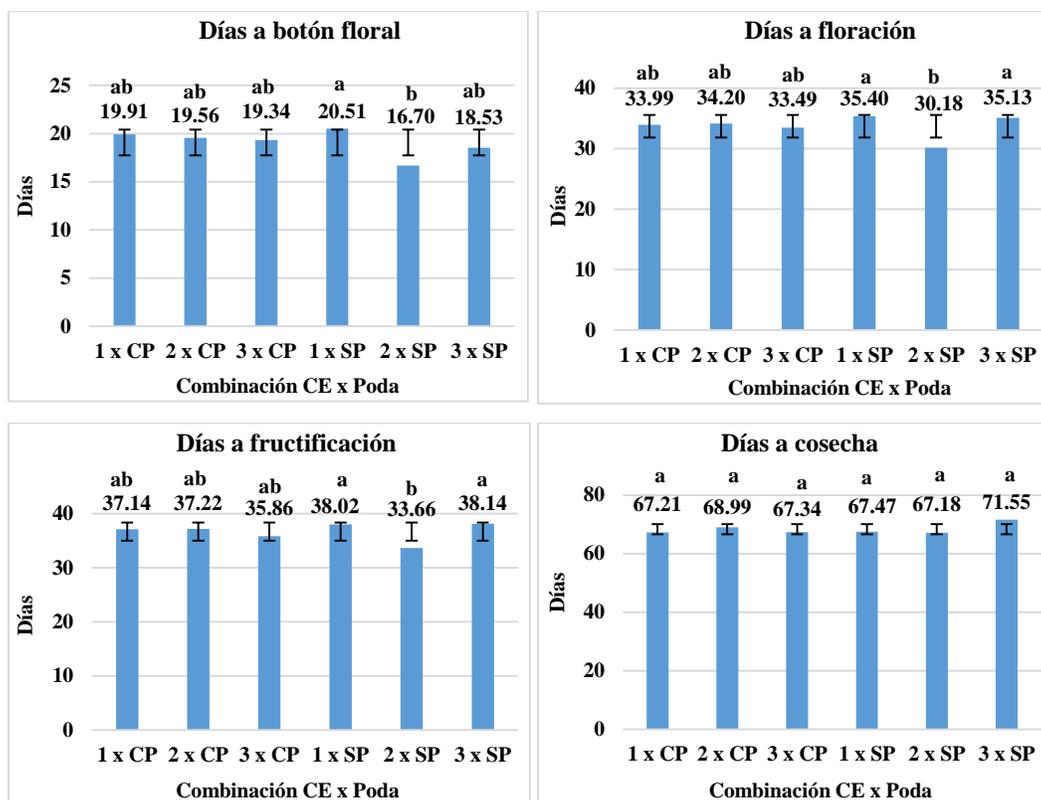


Figura 3.3. Efecto de la combinación Conductividad Eléctrica (CE) x Poda en días a botón floral, floración, fructificación y cosecha de dos poblaciones de *J. procumbens*. 1 x CP: 1 dS m⁻¹ x con poda; 2 x CP: 2 dS m⁻¹ x con poda; 3 x CP: 3 dS m⁻¹ x con poda; 1 x SP: 1 dS m⁻¹ x sin poda; 2 x SP: 2 dS m⁻¹ x sin poda; 3 x SP: 3 dS m⁻¹ x sin poda. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 13 y 87 días después del trasplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.1$).

3.6 CONCLUSIONES

La población erguida es más precoz respecto a la decumbente en todas las variables.

Para días a botón floral, días a floración y días a fructificación, con la combinación del cultivo sin poda y 2 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica, la precocidad fue mayor.

El tratamiento con poda y el cultivo con conductividades eléctricas bajas de solución nutritiva, mostraron mayor precocidad para la cosecha.

Se observó una variabilidad dentro y entre poblaciones por poda y CE; resultados que pueden estar relacionados con variación genética, al ser poblaciones en etapa intermedia de domesticación.

CAPÍTULO IV. ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DE DOS POBLACIONES DE *Jaltomata procumbens* (CAV.) J. L. GENTRY¹

4.1 RESUMEN

La dinámica de absorción nutrimental de una especie bajo cultivo es importante, para identificar el periodo de máxima absorción y planificar la fertilización. El jaltomate (*Jaltomata procumbens*) es una especie semidomesticada, de uso alimenticio y que cumple con los criterios para su futuro uso, y se considera con potencial para su estudio en ambientes controlados. El objetivo de la investigación fue determinar las curvas de absorción de nutrientes de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía. La investigación se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de agosto a noviembre de 2020. Los tratamientos aplicados en hidroponía sin recirculación fueron: dos poblaciones (erguida y decumbente) y tres niveles de conductividad eléctrica (CE), complementada con micronutrientes de acuerdo al nivel de CE aplicado: 1, 2 y 3 dS m⁻¹. Se determinó la concentración de macro y micronutrientes en hoja, y la materia seca total (MST). Se observó variabilidad entre poblaciones y etapas fenológicas de muestreo en la concentración de nutrientes y acumulación de MST. Los macronutrientes con mayor concentración, en la población erguida, fueron P, K y Mg desde la etapa vegetativa y N, en la floración; la población decumbente, concentró más Ca a partir de la fructificación; en micronutrientes, la mayor concentración fue en la decumbente para Fe a partir de la etapa vegetativa, B y Zn desde la floración y Mn desde la fructificación. Las principales estructuras de acumulación de MST, por etapa vegetativa, en la población erguida fueron: hoja y raíz (vegetativa y floración), raíz y tallo (fructificación), estructuras reproductivas y raíz (cosecha); en la decumbente fueron: hoja y raíz (vegetativa), raíz y hoja (floración y fructificación), raíz y estructuras reproductivas (cosecha). Debido a esta variabilidad, se requieren planes de fertilización específicos para cada población.

Palabras clave: recursos nativos, curvas de absorción, agricultura protegida, hidroponía

¹ Artículo preparado con base en el formato la revista Journal of Plant Nutrition

4.2 ABSTRACT

The nutrient absorption dynamics of a species under cultivated conditions is important in order to identify the highest uptake period, and as consequence to program fertilization. The jaltomate (*Jaltomata procumbens*) is a semi-domesticated species, used as food, and meets the criteria for future use, and it is considered with potential for cropping in controlled environments. The objective of the research was to determine nutrient absorption curves of two *J. procumbens* populations, in greenhouse and hydroponics. The research was carried out at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico, from August to November of 2020. The treatments applied in an open hydroponic system were: two populations (erect and decumbent) and three electrical conductivity levels (CE): 1, 2, and 3 dS m⁻¹. Macro and micronutrients in leaf, and total dry matter (TDM), were determined. Variability between populations and phenological growing stages on the nutrient concentration, and accumulation of TDM were observed. The largest concentration of macronutrients in the erect population were found for P, K and Mg from the vegetative stage, and N at flowering; the decumbent one concentrated more Ca from the fruiting stage; for micronutrients, the highest concentration was in the decumbent population for Fe from the vegetative stage, B and Zn from flowering and Mn from fruiting. The main structures of TDM accumulation by vegetative stage in the erect population were: leaf and root (vegetative and flowering), root and stem (fructification), reproductive structures and root (harvesting); in the decumbent one were: leaf and root (vegetative), root and leaf (flowering and fruiting), root and reproductive structures (harvesting). Due to this variability, specific fertilization programs are required for each population.

Keywords: native resources, absorption curves, protected agriculture, hydroponics.

4.3 INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes en la producción agrícola es la nutrición de la planta (González *et al.*, 2018) ya que de ésta dependerá su crecimiento óptimo y rendimiento (Gastelum-Osorio *et al.*, 2013).

Jaltomata procumbens, especie de uso alimenticio en México, de hábito de crecimiento erguido y color de fruto azul-negrusco, presenta en regiones específicas del país, una población de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro; la primera se encuentra como ruderal y

arvense, y la segunda como arvense; se considera una especie semidomesticada cuyos frutos son recolectados y consumidos en fresco o en algunas preparaciones (Flores-Sánchez *et al.*, 2021); con un importante contenido nutrimental y de componentes benéficos (Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016; Mera-Ovando *et al.*, 2003; Williams, 1985); por lo tanto, es viable para su futuro aprovechamiento porque cumple con los criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (Sarukhán, 2020, Comunicación Personal): plantas comestibles por el hombre, plantas de alto valor nutricional, plantas que no requieren de procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización, y plantas que de preferencia sean nativas de México.

De la evaluación de caracteres agronómicos, ambas poblaciones se consideran con potencial para ser estudiadas en ambientes controlados (Flores-Sánchez *et al.*, 2021); no obstante, en la literatura revisada, no se encontró información acerca de la demanda y absorción de nutrimentos para ambas poblaciones.

La dinámica de absorción de nutrimentos por el cultivo, es importante para generar las curvas de absorción de nutrientes por etapa fenológica, que permitan identificar los momentos de máxima absorción durante la estación de crecimiento y, para el diseño de programas de fertilización (Castro-Villarreal y Villarreal-Núñez, 2020). Estas curvas, están determinadas por factores genéticos, etapa fenológica y condiciones climáticas (González *et al.*, 2018). Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar las curvas de absorción de nutrientes de dos poblaciones de *Jaltomata procumbens*, en las etapas vegetativa, floración, fructificación y cosecha, en condiciones de invernadero e hidroponía.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, durante los meses de agosto a noviembre de 2020. Se suministró agua y nutrimentos en riego por goteo sin recirculación de la solución nutritiva.

Se evaluaron dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente, originarias de Tlaxcala, México (19° 15' N y 97° 53' O, a 2500 m de altitud); clima predominante templado subhúmedo C(w1) y C(w2); temperatura media anual entre 12 y 18 °C.

Se utilizó semilla de frutos obtenidos de un trabajo del año 2019, sobre caracteres agronómicos de dichas poblaciones. La semilla se extrajo y se enjuagó con agua de la llave, se secó bajo la sombra a temperatura ambiente, se almacenaron en bolsas de papel y se mantuvieron en condiciones de refrigeración a 4 °C.

4.4.1 Manejo del experimento

La semilla se colocó en cajas de Petri y se aplicaron 12 mL de agua destilada para mantener embebida la semilla durante cuatro días, en condiciones diurnas de 12 h a 30 °C ± 1 y nocturnas de 12 h a 20 °C ± 1 en una cámara de germinación (modelo: ATTGPT-B; serie: 143958201). Posteriormente, se extrajo la semilla, se colocó en un tamiz (malla número 22), se enjuagó con agua destilada, se colocó en cajas Petri sobre papel filtro humedecido y se metieron en la cámara de germinación, a las mismas condiciones ambientales. Se aplicaron riegos diarios con agua destilada para mantener humedecido el papel.

Las semillas germinadas, con hojas cotiledonales, se transfirieron a vasos de 24 mL con turba como sustrato y se regaron con agua destilada. Se mantuvieron por dos días en la cámara de germinación, después se transfirieron a un invernadero con malla sombra 40 % y se regaron con agua de la llave (pH 7.7 y CE 0.5 dS m⁻¹). Luego se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL, con tezontle rojo como sustrato (1 a 3 mm de diámetro de partícula); se regó con solución nutritiva Steiner con 1 dS m⁻¹ de CE hasta alcanzar una altura de 15 cm. El trasplante final se realizó a los 42 días después de la siembra (dds) a bolsas de polietileno negro 40 x 40 (13 L) con tezontle rojo como sustrato (diámetro ≤ 12 mm, densidad de 0.78 g cm⁻³ y 21.9 % de retención de humedad). Se realizó tutorado con rafia tomatera a tallos principales y ramificaciones conforme avanzó el crecimiento de la planta. En la población erguida se realizó poda de brotes laterales y basales, en la decumbente se dejaron dos brotes basales y se eliminaron brotes laterales. Se presentaron plagas y patógenos como gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y cenicilla (*Oidium* sp.). El gusano soldado, se eliminó de manera manual, y para la cenicilla se aplicó bicarbonato de sodio (20 g L⁻¹).

Se realizaron cuatro muestreos destructivos a los 17, 31, 45 y 57 días después del trasplante (ddt): etapa vegetativa, floración, fructificación y cosecha, respectivamente. Las plantas muestreadas se extrajeron del sustrato y se lavó la raíz con agua de la llave. Se llevaron a

laboratorio donde se separó raíz, hoja, vástago y estructuras reproductivas. Para obtener el peso seco, cada muestra se colocó en bolsas de papel y se secaron en una estufa por 72 h (Estufa Riossa modelo HCF-125D, No. de serie 120209).

4.4.2 Diseño experimental

El diseño experimental fue un factorial con los siguientes factores y niveles: dos poblaciones (erguida y decumbente), tres concentraciones (CE de la solución nutritiva) de solución nutritiva Steiner (1984) con macro y micronutrientes aplicados proporcionalmente a cada nivel de CE: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, dosificadas desde el trasplante final; el volumen de riego aplicado cada día fue de 0.23 a 1 L por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento. El pH se mantuvo en el intervalo de 5.5 a 6.5. El pH y la CE se monitorearon con un equipo portátil (Conductronic PC18). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta, con un total de 72 unidades experimentales.

4.4.3 Variables evaluadas

Análisis de macro y micronutrientes en hojas

Las muestras de hojas secas se molieron y se pasaron por una malla número 40. Se pesaron 0.25 g y se llevó a cabo una digestión húmeda, utilizando una mezcla de H₂SO₄ y HClO₄ (2:1, v/v), más 1 mL de H₂O₂ al 30 %. Terminada la digestión, se aforó cada muestra a 25 mL con agua desionizada y posteriormente se filtró. En el extracto líquido se determinaron los elementos, con excepción de N, en un equipo de espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado (ICP-AES 725-ES, Angilet, Santa Clara, CA, USA). El N, se determinó por el método Semimicro-Kjeldahl (Horneck y Miller, 1997). Los resultados se reportan en g kg⁻¹, para macronutrientes y mg kg⁻¹, para micronutrientes.

Características de planta

Previo a cada muestreo, se determinaron las lecturas SPAD-502, que se utilizan para medir la intensidad del color verde de las hojas. Se obtuvo una lectura promedio con las lecturas de cuatro hojas opuestas recién expandidas.

Se registró la altura del tallo (LT) y la longitud de la raíz (LR) en cm con una cinta métrica; el diámetro de tallo (DT) en mm con un vernier; el área foliar (AF) en cm² con un integrador de área foliar (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, USA, LI-3100 Area meter). La materia seca total (MST), se obtuvo con la sumatoria de los pesos secos de cada uno de los órganos, determinados en g con una balanza analítica (Modelo Adventurer Pro AV213C).

4.4.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 x 3 completamente al azar y una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2002) versión 9.0.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los factores población (Pob) y conductividad eléctrica (CE) afectaron la concentración en hoja de macronutrientes y micronutrientes, y la materia seca total (MST), en al menos uno de los muestreos, excepto para Mo y lecturas SPAD para Pob y B para CE ($P \leq 0.05$). En la interacción Pob x CE, en al menos uno de los muestreos, se presentaron diferencias estadísticas en macronutrientes, micronutrientes, MST y lecturas SPAD, lo que indicó que el efecto de la CE para cada variable no fue el mismo dentro de cada población. Los coeficientes de variación más altos se presentaron en micronutrientes y MST: MST (21.1 %), B (41.2 %), Mo (42.5 %) y Zn (23.7 %) para el primer muestreo; en el segundo muestreo Fe (25.8 %) y Mo (48.8 %); tercer muestreo MST (29.6 %) y Mo (53.0 %); cuarto muestreo MST (32.5 %), Fe (29.7 %) y Mo (73.4 %).

4.5.1 Macronutrientes

Para el N, con excepción de la etapa vegetativa, se presentaron diferencias estadísticas. En floración se registró un aumento en ambas poblaciones; mayor en la población erguida en 10.7 % en comparación con la decumbente (Figura 4.1). Posteriormente, se presentó una disminución en ambas poblaciones, manteniendo la población erguida una mayor concentración en etapa de fructificación y cosecha que la decumbente. El N está involucrado en el desarrollo vegetativo. Es el macronutriente más abundante en los tejidos de la planta, de 10 a 50 g kg⁻¹ de la materia seca total (Muratore *et al.*, 2021). Su función es fundamental para que la planta complete su ciclo

biológico (Feng *et al.*, 2020); incrementa la fotosíntesis, producción y duración del área foliar, características importantes ya que un área foliar mayor también es determinante para obtener rendimientos mayores (Leghari *et al.*, 2016); motivo por el cual, se explica la mayor absorción de este elemento en las primeras etapas de crecimiento, donde se privilegia el desarrollo vegetativo, disminuyendo hacia fructificación y cosecha, para favorecer el desarrollo de los frutos.

En el K, con excepción de la etapa de floración, se presentaron diferencias estadísticas; en etapa vegetativa, la población erguida presentó más K que la decumbente; a partir de esta etapa, la absorción se redujo en ambas poblaciones; sin embargo, fue mayor 50.2 % en la población erguida en la cosecha. Para la decumbente, esta reducción fue menos acentuada con un 23.9 % (Figura 4.1). Este elemento está involucrado en la expansión celular y apertura estomatal, activación enzimática y ajuste osmótico; es el catión más abundante en células vegetales contribuyendo con hasta el 10 % del peso seco de la planta (Ragel *et al.*, 2019).

La tasa de absorción de N y K, a menudo se correlaciona positivamente, debido a la tendencia de balance de cargas (Feng *et al.*, 2020) o activación de transportadores involucrados en la asimilación de NO_3^- y K^+ , ya que trabajos recientes sugieren que el transportador NRT1.5, que dirige el transporte de raíz al vástago del NO_3^- , también está involucrado en la translocación de K^+ dependiente de nitrato (Fan *et al.*, 2017), y es el contraion principal para la translocación de NO_3^- al floema (Ragel *et al.*, 2019).

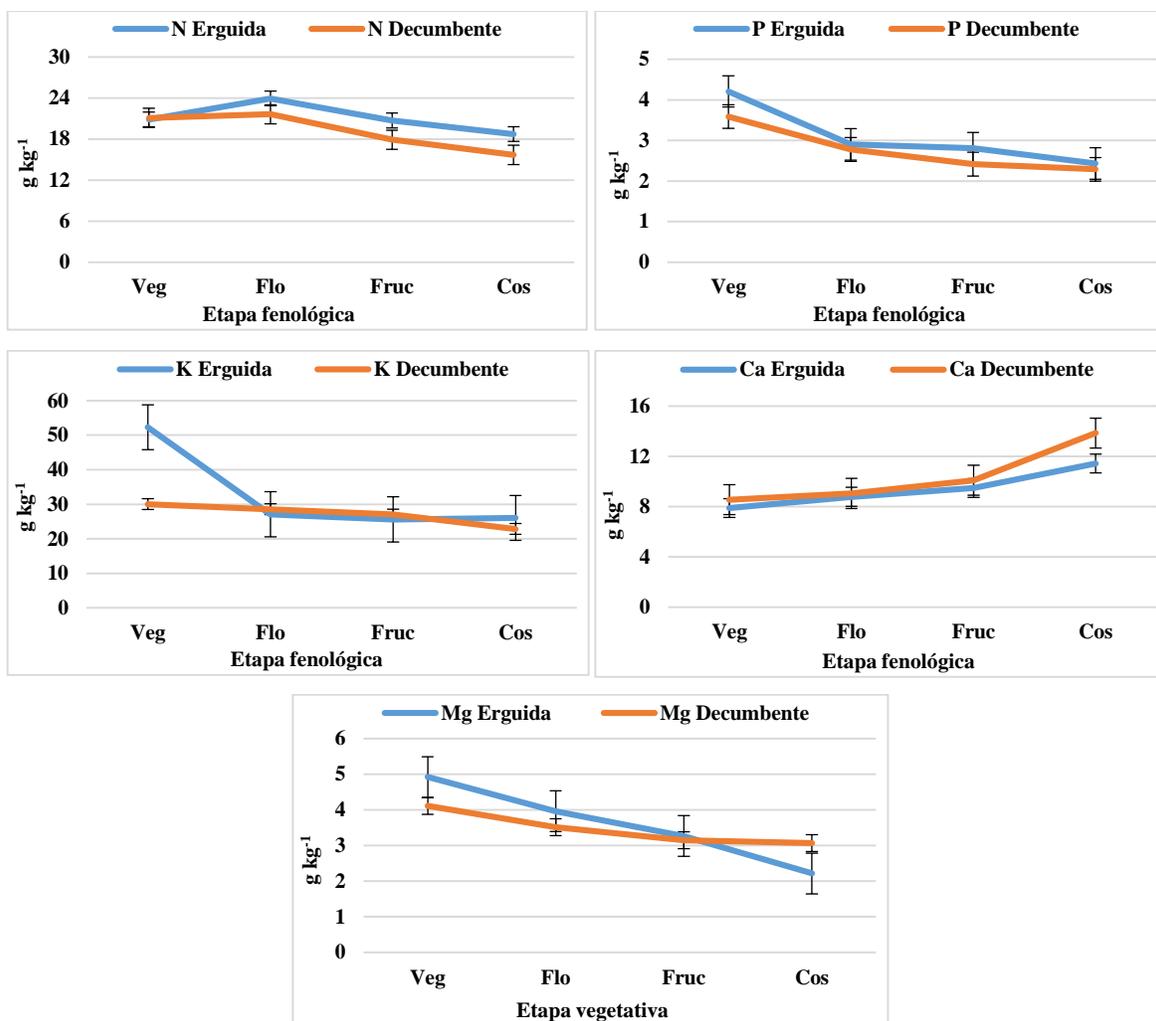


Figura 4.1. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Los muestreos se llevaron a cabo a los 17, 31, 45 y 57 ddt, correspondientes a las etapas: Veg: Vegetativa; Flo: Floración; Fruc: Fructificación; Cos: Cosecha. DMSH: Etapa: vegetativa N (3.22 g kg⁻¹), P (0.31 g kg⁻¹), K (5.76 g kg⁻¹), Ca (0.68 g kg⁻¹), Mg (0.49 g kg⁻¹); floración N (1.99 g kg⁻¹), P (0.19 g kg⁻¹), K (2.78 g kg⁻¹), Ca (0.81 g kg⁻¹), Mg (0.40 g kg⁻¹); fructificación N (1.51 g kg⁻¹), P (0.24 g kg⁻¹), K (1.14 g kg⁻¹), Ca (0.67 g kg⁻¹), Mg (0.26 g kg⁻¹); cosecha N (1.47 g kg⁻¹), P (0.42 g kg⁻¹), K (3.01 g kg⁻¹), Ca (1.38 g kg⁻¹), Mg (0.43 g kg⁻¹) (Tukey, $P \leq 0.05$).

La absorción de Ca aumentó en cada una de las etapas fenológicas (Figura 4.1). La población decumbente superó estadísticamente a la erguida, en la cosecha. La mayor absorción se presentó a partir de la fructificación, la población decumbente finalizó con un 21.2 % más que la erguida. La tasa de absorción y acumulación de Ca depende de la especie (Gilliham *et al.*, 2011); sin embargo, en este trabajo se observó que también dentro de poblaciones de la misma especie, se presenta una absorción diferencial. Éste elemento juega un papel estructural y de señalización, además, puede contribuir al balance osmótico; su concentración en el tejido vegetal varía de

acuerdo a las condiciones de cultivo, órgano y edad de la planta, y a la especie (González-Fontes *et al.*, 2017). Esto depende, de la tasa de transpiración y movimiento del agua a través de la planta, y de la capacidad de intercambio catiónico de la pared celular, que influirá en el transporte de Ca en el apoplasto y su almacenamiento dentro de los diferentes tejidos (Gilliham *et al.*, 2011); el Ca es importante para la resistencia en la pared celular y para prevenir su degradación enzimática, al contribuir en la formación de puentes entre las pectinas, resultando en complejos de pectato de calcio, manteniendo la firmeza en frutos e incrementando su vida de anaquel (Ribeiro *et al.*, 2020). La distribución relativa del Ca total es del 70-90 % en hojas y de 10 a 30 % en raíces; su concentración en hojas maduras, puede alcanzar un 10 % del peso seco (González-Fontes *et al.*, 2017).

Para el Mg, las diferencias estadísticas se presentaron en etapa vegetativa, floración y cosecha; en ambas poblaciones la mayor absorción se presentó en la primera etapa, presentando la población erguida el valor más alto, superior a la decumbente en 19.6 %; posteriormente, se registró una disminución hasta la última etapa, acentuándose más en la población erguida con el valor más bajo en comparación con la decumbente, en 38.5 % (Figura 4.1). El requerimiento para un crecimiento óptimo de la planta es entre 1.5 - 3.5 g kg⁻¹ en partes vegetativas (Guo *et al.*, 2016). Los resultados promedio obtenidos en este trabajo de Mg en hoja, fueron de 3.5 y 3.6 g kg⁻¹ para la población decumbente y erguida, respectivamente, estando en el límite superior del intervalo mencionado. El Mg es importante en la formación de clorofila, tienen un papel clave en la fotosíntesis (Farhat *et al.*, 2016); cerca del 75 % del Mg en la hoja está involucrado en la síntesis de proteína y del 15 al 20 % con los pigmentos de la clorofila (Guo *et al.*, 2016) al formar parte del complejo de esta molécula (Tang y Luan, 2017), por lo cual, de manera preferente, es transportado a dicha estructura, además, ésta participa en el transporte de carbohidratos del órgano fuente al de demanda (Farhat *et al.*, 2016). Esto podría responder a la mayor absorción de Mg por parte de la población decumbente a partir de la etapa de fructificación, al requerir dicho elemento para el transporte de carbohidratos al fruto, que representa el principal órgano de demanda; para esta población, se reporta un contenido de sacarosa en fruto de 9.4 %, mientras que para la erguida, es de 1.6 % (Williams, 1985).

La mayor absorción de P se registró en la población erguida, con diferencias estadísticas en etapa vegetativa y fructificación. La dinámica de absorción fue la misma para ambas

poblaciones, con los valores más altos en la primera etapa, disminuyendo paulatinamente hasta la cosecha, con los valores más bajos (Figura 4.1). Este elemento constituye de 0.5 – 5 g kg⁻¹ del peso seco de la planta, y es la vacuola el principal sitio de almacenamiento; tiene un papel importante en la división celular y metabolismo de carbohidratos (Malhotra *et al.*, 2018); también en la fosforilación del transportador de NO₃⁻ NRT2.1, que regula la absorción de NO₃⁻, observada en *Arabidopsis thaliana* (Jacquot *et al.*, 2020).

4.5.2 Micronutrientes

En ambas poblaciones, la absorción de B y Fe presentó un comportamiento similar, en donde su punto más bajo se registró en etapa de floración, para posteriormente incrementar su contenido. Para B, hubo diferencias estadísticas a partir de la etapa mencionada, con valores de 18.2 mg kg⁻¹ para la erguida y 23.3 mg kg⁻¹ para la decumbente; posteriormente, se dio un incremento paulatino hasta etapa de cosecha, donde la población decumbente obtuvo la mayor concentración, superior a la erguida en 16.6 % (Figura 4.2). El B tiene un papel importante en el desarrollo de las flores, semilla y fruto; participa en el transporte de agua, nutrientes y azúcares hacia regiones en crecimiento; es considerado móvil vía floema para numerosos cultivos agrícolas, transportado como complejo con polioles; se reporta en plantas de 10 a 200 mg kg⁻¹ (Karthika *et al.*, 2018). En ambas poblaciones, el B registró su punto más bajo en floración, lo que podría indicar una mayor distribución hacia las flores, donde tiene un papel importante para su desarrollo; posteriormente, incrementa su concentración en hoja, probablemente debido a su mayor requerimiento para la movilización de azúcares hacia los frutos. El requerimiento de B en las plantas correlaciona con el contenido de pectina (Yoshinari y Takano, 2017); lo que podría indicar un mayor contenido de dicho polisacárido en la población decumbente, al registrar una mayor concentración de B, que la población erguida.

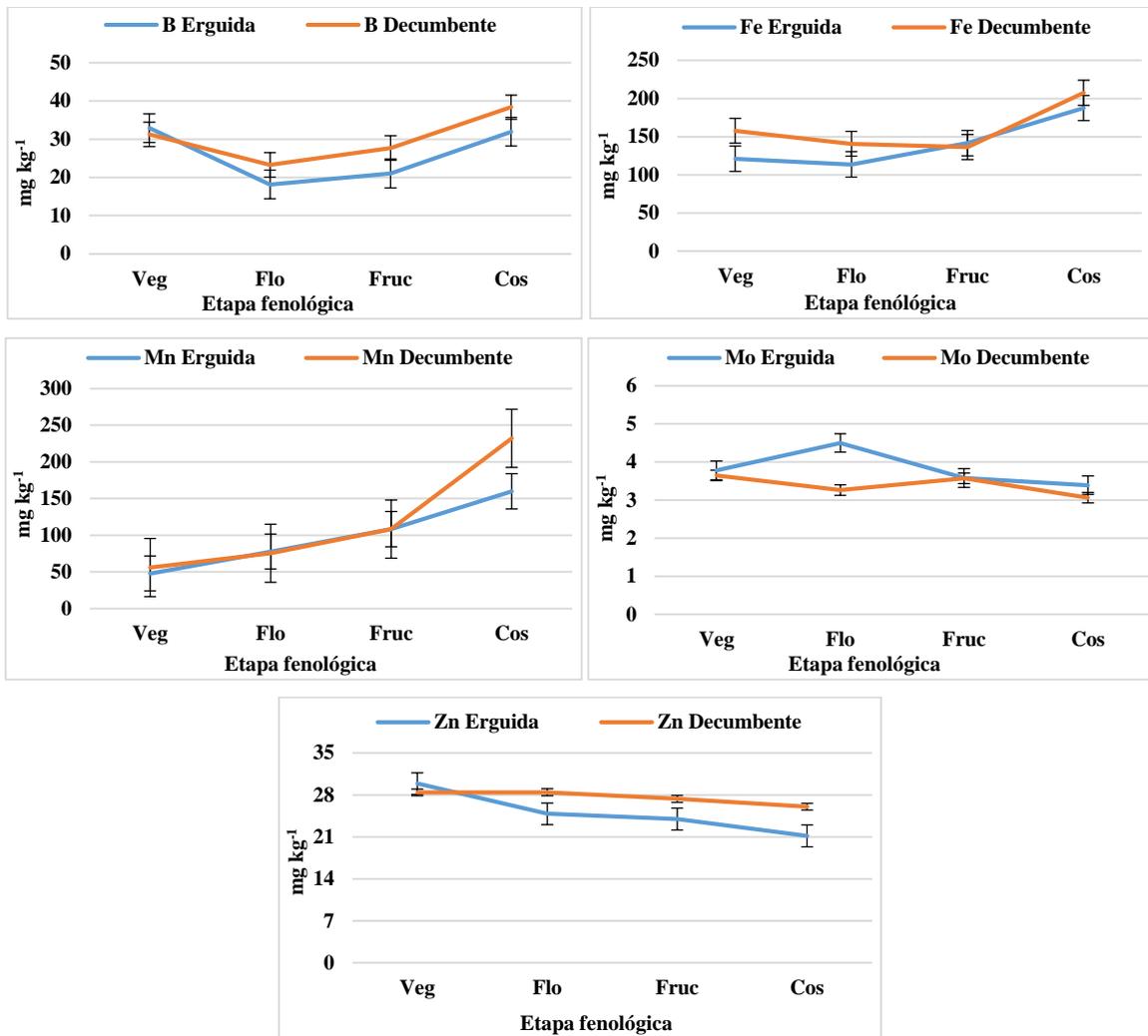


Figura 4.2. Absorción de B, Fe, Mn, Mo y Zn en dos poblaciones de *J. procumbens*: erguida y decumbente. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Los muestreos se llevaron a cabo a los 17, 31, 45 y 57 ddt, correspondientes a las etapas: Veg: Vegetativa; Flo: Floración; Fruc: Fructificación; Cos: Cosecha. DMSH: Etapa: vegetativa B (13.34 mg kg⁻¹), Fe (22.14 mg kg⁻¹), Mn (9.76 mg kg⁻¹), Mo (1.60 mg kg⁻¹), Zn (7.00 mg kg⁻¹); floración B (2.19 mg kg⁻¹), Fe (33.11 mg kg⁻¹), Mn (10.47 mg kg⁻¹), Mo (1.91 mg kg⁻¹), Zn (4.22 mg kg⁻¹); fructificación B (3.53 mg kg⁻¹), Fe (25.58 mg kg⁻¹), Mn (14.43 mg kg⁻¹), Mo (1.92 mg kg⁻¹), Zn (3.24 mg kg⁻¹); cosecha B (6.08 mg kg⁻¹), Fe (59.27 mg kg⁻¹), Mn (36.20 mg kg⁻¹), Mo (2.39 mg kg⁻¹), Zn (4.10 mg kg⁻¹) (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el caso del Fe, se presentaron diferencias estadísticas en etapa vegetativa donde la población decumbente absorbió más Fe que la erguida, en un 30.2 %; posteriormente, disminuyó en ambas poblaciones hasta su punto más bajo en etapa de floración y fructificación; a partir de estas etapas se dio un incremento donde la decumbente absorbió más Fe que la erguida en 9.6 % para la cosecha (Figura 4.2). En plantas se reportan 140 mg kg⁻¹ de peso seco (Anjum *et al.*, 2015). El Fe, participa en la síntesis de ADN, de clorofila y reducción de N (Rai *et al.*, 2021); se requiere para procesos como respiración y fotosíntesis, al participar en la cadena de transporte de

electrones; es constituyente de la porción hemo de enzimas antioxidantes como catalasas (CAT), peroxidasas no específicas (POD) y ascorbato peroxidasas (APX), y como un cofactor de la Fe-superóxido dismutasa; su absorción depende de la especie, genotipo, del ambiente y edad de la planta; es almacenado en vacuola donde transportadores como VIT1 e IREG2, son los encargados de importar este elemento a dicho organelo (Krohling *et al.*, 2016); donde después, es removido a otros organelos a través del floema, siendo la proteína de la familia del transportador de oligopéptidos OPT3, identificada en *Arabidopsis*, la involucrada en este proceso (Connorton *et al.*, 2017).

La absorción de Mn tuvo un aumento constante, con diferencias estadísticas en etapa vegetativa y cosecha, registrándose el inicio de mayor concentración a partir de la fructificación, terminando la población decumbente, en etapa de cosecha, con el valor más alto en 45.3 % más que la erguida (Figura 4.2). Este elemento, participa en fotosíntesis, respiración, activación enzimática, síntesis de ácidos grasos y proteínas; el requerimiento en la planta es de 20 – 40 mg kg⁻¹ de peso seco (Li *et al.*, 2019). El Mn se encuentra presente en todos los compartimentos celulares, siendo la vacuola la que sirve como almacén temporal para su posterior distribución a los otros organelos, su absorción y distribución está mediada por múltiples proteínas de transporte de diversas familias de genes (Alejandro *et al.*, 2020).

Para Mo, la población erguida registró la mayor cantidad de este elemento, con la etapa de floración la de mayor concentración superior en 38.0 % a la decumbente, que registró una disminución con respecto a la etapa vegetativa, aunque no hubo diferencias estadísticas (Figura 4.2). El Mo, es importante en la función de más de 50 diferentes enzimas como nitrogenasa y nitrato reductasa; el proceso de absorción y redistribución en la planta todavía no está del todo claro (Rana *et al.*, 2020). En general, los requerimientos de Mo están en el intervalo de 0.1 – 1.0 mg kg⁻¹, aunque se reporta que las plantas pueden tolerar altos niveles de hasta 1000 mg kg⁻¹; por el contrario, para algunas especies con niveles superiores a 1.5 mg kg⁻¹ se presentan alteraciones anatómicas en hoja, raíz y tallo (Anjum *et al.*, 2015). En este trabajo, ambas poblaciones superaron el intervalo de Mo mencionado, con valores para la población erguida y decumbente de hasta 4.5 y 3.65 mg kg⁻¹, respectivamente, no observando efectos negativos en el desarrollo de la planta; sin embargo, se requieren estudios anatómicos para determinar el comportamiento de ambas poblaciones ante altos niveles de absorción de Mo.

Para el caso de Zn, con excepción de la etapa vegetativa, se presentaron diferencias estadísticas en las demás etapas, donde la población decumbente registró mayor cantidad de este nutrimento en floración, fructificación y cosecha, con respecto a la erguida en 12.7, 12.4 y 18.7 %, respectivamente (Figura 4.2). Este elemento participa en diversas funciones fisiológicas como fotosíntesis, estructura de la membrana, síntesis de proteínas y, tolerancia a enfermedades y estrés; su presencia en las plantas es de 30 – 100 mg kg⁻¹ de materia seca (Noulas *et al.*, 2018).

4.5.3 Conductividad eléctrica

Con el cultivo a 1 dS m⁻¹ se registró una mayor concentración de Ca para etapa de cosecha, superior en 23.6 % con respecto a 3 dS m⁻¹ (Cuadro 4.1); en Mg, en la etapa vegetativa se registró la mayor concentración, con 15.4 % más, respecto a 3 dS m⁻¹ de CE; lo que indica, que disminuye la concentración al aumentar la CE. Para la concentración de Mn, la mayor se registró en fructificación con, superior en 19.9 % respecto a 3 dS m⁻¹ de CE. Con el cultivo a 2 dS m⁻¹, en etapa vegetativa, la concentración de Ca, fue superior a 1 dS m⁻¹ en 14.8 %; para fructificación, la concentración de P, K y Mo fue mayor en 23.8, 12.36 y 200 % respecto a 1 dS m⁻¹, respectivamente.

Cuadro 4.1. Comparación de medias de la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Mo y Zn, de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante (ddt).

FV	Macronutrientos (g kg⁻¹)				Micronutrientos (mg kg⁻¹)		
CE (dS m⁻¹)	Etapa vegetativa (17 ddt)				Etapa vegetativa (17 ddt)		
	N	P	Ca	Mg	Fe	Mo	
1	17.8 b	3.5 b	7.4 b	4.8 a	118.3 b	1.9 b	
2	21.6 ab	4.1 a	8.7 a	4.7 a	146.6 ab	4.1 a	
3	23.2 a	4.1 a	8.6 a	4.0 b	153.4 a	5.2 a	
	Etapa de floración (31 ddt)			Etapa de floración (31 ddt)			
	N	P	Mg	Mn	Mo	Zn	
1	21.2 b	2.3 c	4.3 a	94.4 a	3.2 b	24.2 b	
2	22.6 ab	2.8 b	3.3 b	75.4 b	2.5 b	25.8 ab	
3	24.3 a	3.4 a	3.6 b	59.7 c	5.9 a	30.0 a	
	Etapa de fructificación (45 ddt)			Etapa de fructificación (45 ddt)			
	P	K	Mg	Mn	Mo	Zn	
1	2.3 b	24.4 b	3.7 a	118.3 a	1.6 b	18.6 c	
2	2.8 a	27.4 a	3.1 b	112.0 ab	4.8 a	26.9 b	
3	2.8 a	27.2 a	2.8 b	94.7 b	4.3 a	31.5 a	
	Etapa de cosecha (57 ddt)		Etapa de cosecha (57 ddt)				
	Ca	Mg	Zn				
1	14.3 a	3.3 a	18.1 b				
2	12.0 b	2.5 b	24.7 a				
3	11.6 b	2.1 b	28.1 a				

CE: conductividad eléctrica. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$)

El cultivo a 3 dS m⁻¹ presentó valores más altos en etapa vegetativa, con una mayor concentración respecto a 1 dS m⁻¹ en: 14.8 % para P y 22.8 % para Fe. En etapa de floración, con esta CE en comparación con la más baja, se obtuvo la mayor concentración en N y Zn, sobresaliendo en 12.8 y 19.1 %, respectivamente; para Mo, en esta etapa, se registró una mayor concentración con respecto a 2 dS m⁻¹, superior en 57.9 %. En fructificación y cosecha, para Zn, la mayor concentración se presentó con 3 dS m⁻¹, con el valor más alto en fructificación, superando en 40.9 % a 1 dS m⁻¹ (Cuadro 4.1). Elementos como Mg y Mn, presentaron un comportamiento donde a mayor CE menor absorción de dichos nutrientes; mientras que los demás, excepto Ca en la última etapa, mostraron un incremento. Esto puede responder a que muchas plantas presentan mecanismos para eliminar las sales o para soportar su presencia dentro de sus células; por lo que, altas concentraciones salinas que podrían ser dañinas para unas especies, para otras no lo son

(Stefanov *et al.*, 2016); lo que estaría indicando, una tolerancia al estrés por salinidad, involucrando una activación de modulaciones génicas (Muchate *et al.*, 2016).

Para lecturas SPAD se obtuvieron diferencias estadísticas en etapa de fructificación, registrándose el valor más alto con 2 dS m⁻¹ de CE (61.6), superior en 5.5 % a 1 dS m⁻¹ (datos no mostrados); sin embargo, en general se registró una tendencia de mayores lecturas SPAD al incrementar la CE, indicando mayor presencia de clorofila, ya que estas lecturas son proporcionales a la concentración de este pigmento en la hoja, en donde los nutrientes disponibles son importantes (Flores-Sánchez *et al.*, 2021). Concentraciones altas de clorofila se han encontrado en condiciones de altos niveles de CE, reportando que el incremento de clorofila bajo condiciones salinas mejora la tolerancia al estrés (Ding *et al.*, 2018).

4.5.4 Combinación población x conductividad eléctrica

En la combinación Pob x CE, para la etapa vegetativa, una CE de 3 dS m⁻¹ favoreció la concentración de P en la población erguida y, para Ca y Fe en la decumbente (Figura 4.3). La concentración de P y Mg se vio favorecida en la población decumbente con el cultivo a 2 dS m⁻¹; este mismo nivel de CE, en la población erguida, favoreció la concentración de K, Ca y Fe; mientras que, con una CE de 1 dS m⁻¹ se registró el valor más alto para K y Mg, en la población decumbente y erguida, respectivamente.

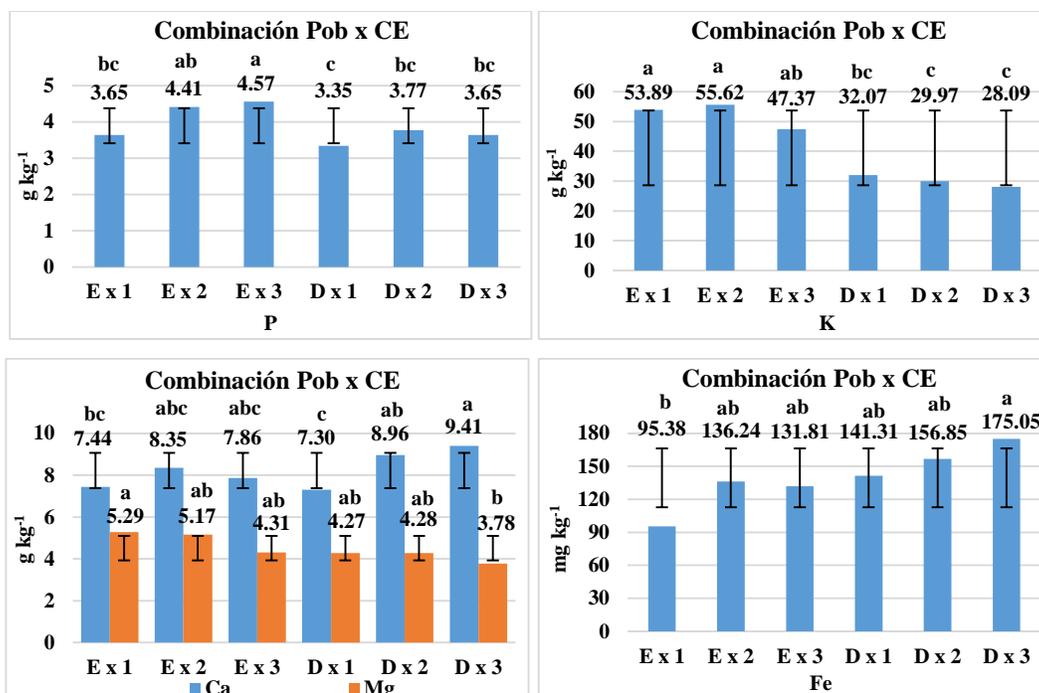


Figura 4.3. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de K, P, Ca, Mg y Fe, en etapa vegetativa de dos poblaciones de *J. procumbens*. Ex 1: erguida x 1 dS m⁻¹; Ex 2: erguida x 2 dS m⁻¹; Ex 3: erguida x 3 dS m⁻¹; Dx 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; Dx 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; Dx 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

En etapa de floración, el cultivo a 3 dS m⁻¹ favoreció en ambas poblaciones la concentración de N, P y Mo. Con el cultivo a 1 dS m⁻¹, en ambas poblaciones, se registró la mayor concentración de Mg y Mn. Para B, el cultivo a 1 dS m⁻¹ favoreció su concentración en la población erguida, mientras que, en la decumbente se registró el valor más alto con 3 dS m⁻¹ (Figura 4.4).

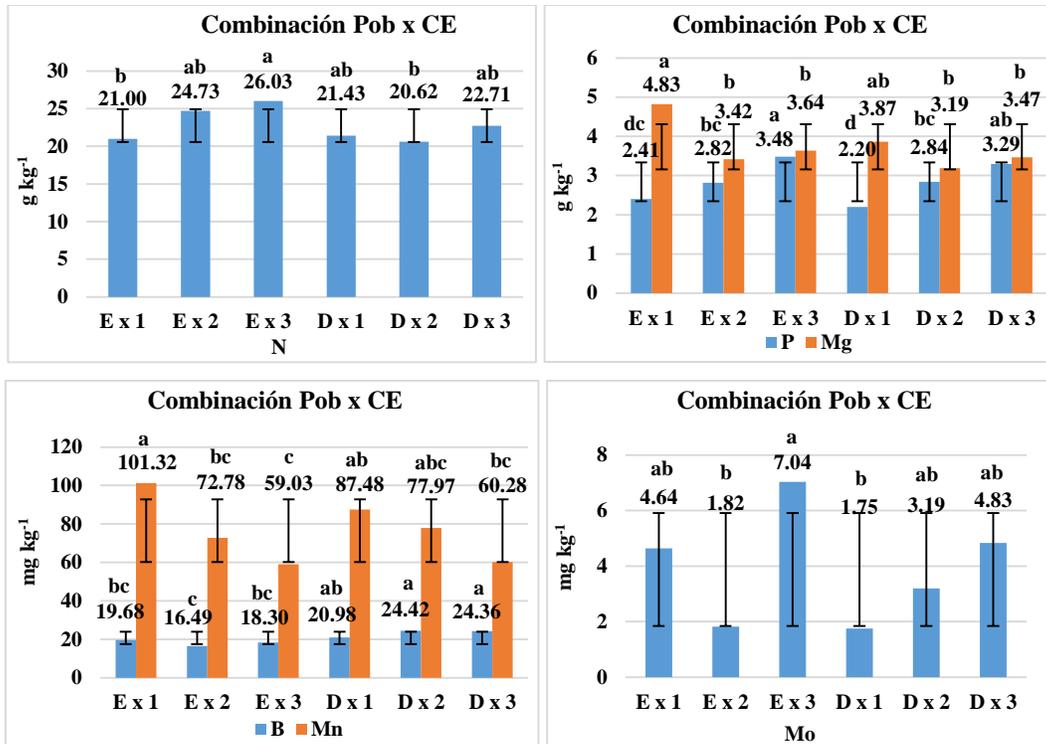


Figura 4.4. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de N, P, Mg, Bo, Mn y Mo, en etapa de floración de dos poblaciones de *J. procumbens*. Ex 1: erguida x 1 dS m⁻¹; Ex 2: erguida x 2 dS m⁻¹; Ex 3: erguida x 3 dS m⁻¹; Dx 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; Dx 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; Dx 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para fructificación, una CE de 1 dS m⁻¹ favoreció la concentración de Ca y Mg en la población erguida y, en la decumbente de Mg. Con un nivel de 2 dS m⁻¹, se favoreció en la población erguida la concentración de K y, en la decumbente de P, B, y valores de lecturas SPAD (63.2). Para la población erguida, con 3 dS m⁻¹ se promovió la concentración de P, B, Zn, y en lecturas SPAD (63.2); mientras que, en la decumbente le favoreció en K, Ca y Zn (Figura 4.5).

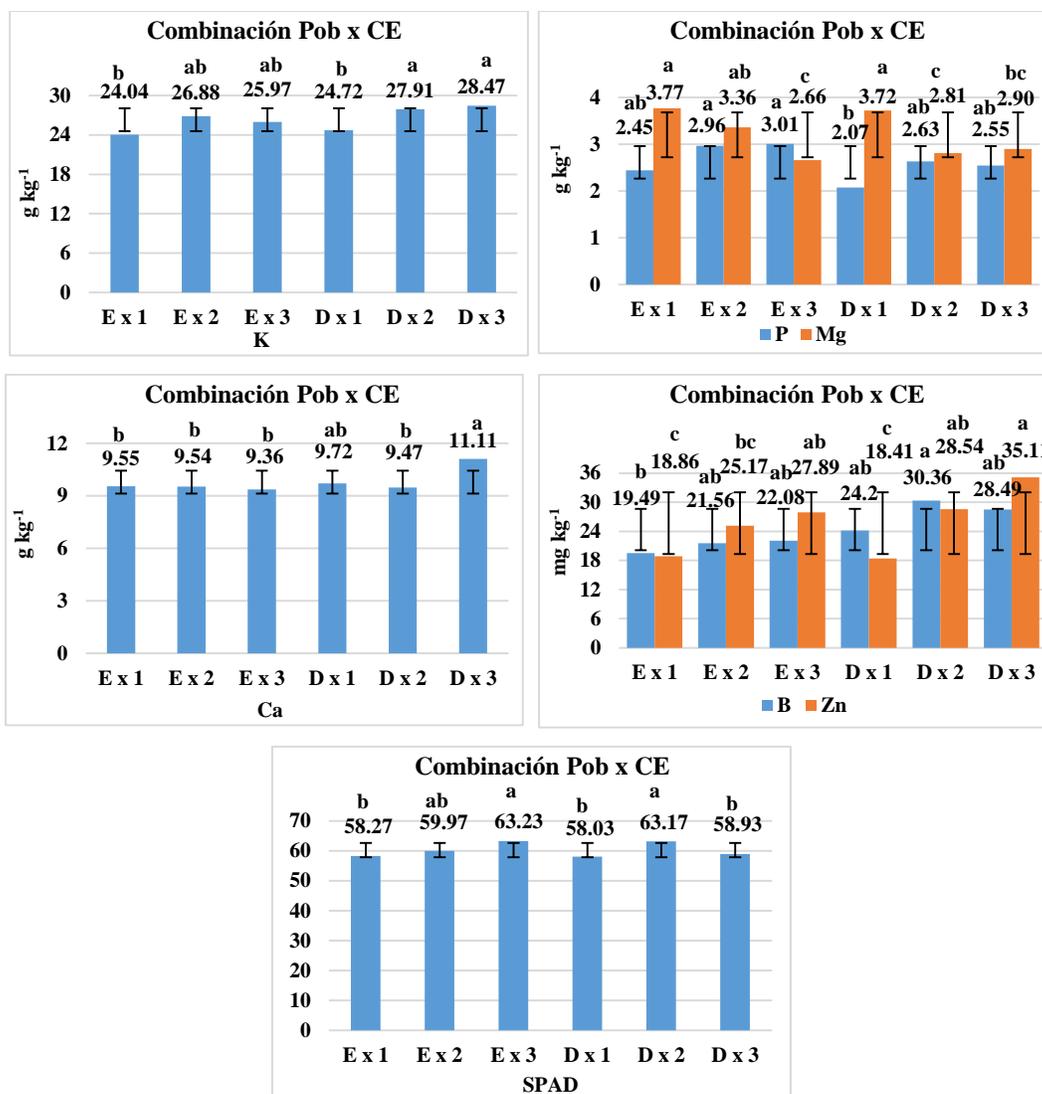


Figura 4.5. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de K, P, Ca, Mg, B, Zn y lecturas SPAD, en etapa de fructificación de dos poblaciones de *J. procumbens*. Ex 1: erguida x 1 dS m⁻¹; Ex 2: erguida x 2 dS m⁻¹; Ex 3: erguida x 3 dS m⁻¹; Dx 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; Dx 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; Dx 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

En etapa de cosecha, el cultivo a 1 dS m⁻¹ benefició en la población erguida la concentración de K, Ca y Mg, y en la decumbente en Ca y Mg. Con una CE de 2 dS m⁻¹, en la erguida, se favoreció la concentración de N y, en la decumbente para K y Mn. Finalmente, 3 dS m⁻¹ de CE, ayudó a una mayor concentración de Mn y Zn en la erguida, mientras que, en la decumbente en N y Zn (Figura 4.6).

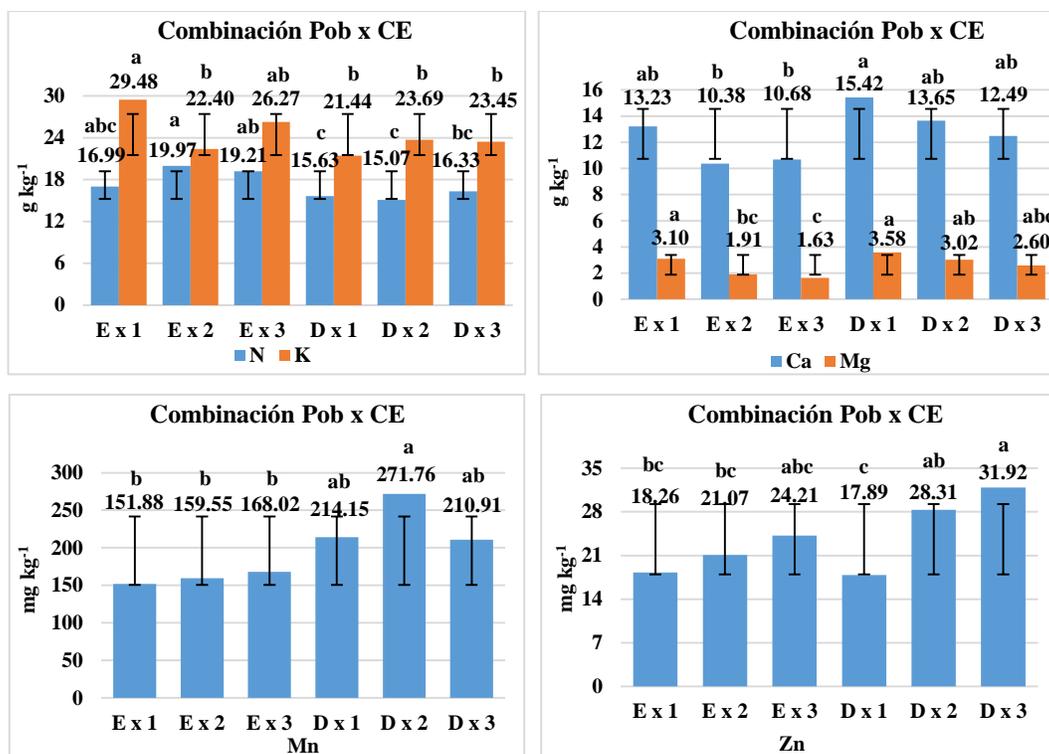


Figura 4.6. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la concentración de N, K, Ca, Mg, Mn y Zn, en etapa de cosecha de dos poblaciones de *J. procumbens*. Ex 1: erguida x 1 dS m⁻¹; Ex 2: erguida x 2 dS m⁻¹; Ex 3: erguida x 3 dS m⁻¹; Dx 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; Dx 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; Dx 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

4.5.5 Orden de absorción de macronutrientos y micronutrientos

La absorción de macronutrientos, en ambas poblaciones, estuvo en el orden de $K > N > Ca > Mg > P$ para las etapas vegetativa, floración, y fructificación, y cosecha para la decumbente; en la erguida para la última etapa fue $K > N > Ca > P > Mg$. En los micronutrientos, para ambas poblaciones fue en etapa vegetativa $Fe > Mn > B > Zn > Mo$ y en floración, $Fe > Mn > Zn > B > Mo$; en fructificación fue: erguida $Fe > Mn > Zn > B > Mo$, decumbente $Fe > Mn > B > Zn > Mo$; en etapa de cosecha, para la erguida, fue $Fe > Mn > B > Zn > Mo$, y para la decumbente $Mn > Fe > B > Zn > Mo$ (Figura 4.7).

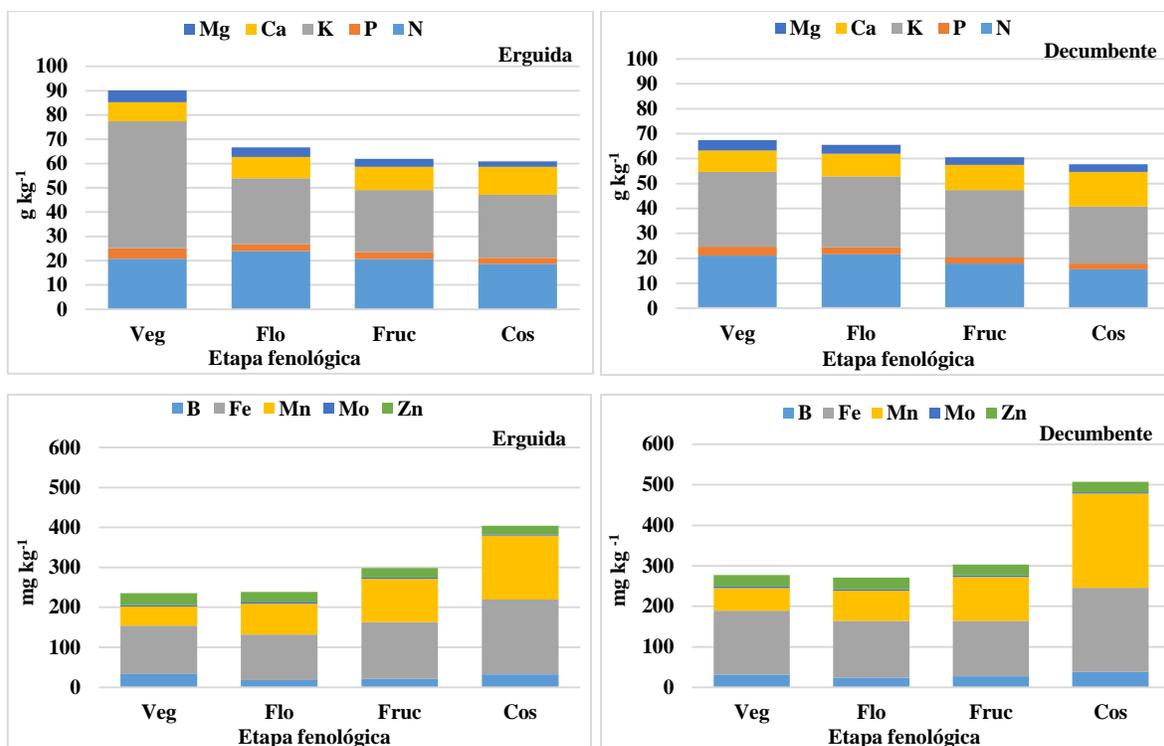


Figura 4.7. Orden del nivel de absorción de macronutrientos y micronutrientos de dos poblaciones de *J. procumbens*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Los muestreos se llevaron a cabo a los 17, 31, 45 y 57 ddt, correspondientes a las etapas: Veg: Vegetativa; Flo: Floración; Fruc: Fructificación; Cos: Cosecha.

4.5.6 Materia seca total

La población erguida superó a la decumbente en acumulación de MST al igual que en LT, LR, DT y AF en todas las etapas de muestreo, con valores para el último muestreo de: LT (162.2 cm), LR (53.7 cm), DT (12.8 mm) y AF (5980.2 cm² planta⁻¹); en comparación con la decumbente que registró 64.4 cm para LT, 47.5 cm para LR, 7.9 mm para DT y 2058.2 cm² planta⁻¹ para AF (datos no mostrados). La erguida, con respecto a la decumbente, obtuvo mayor MST para la etapa vegetativa en 35.5 %, para floración 61.0 %, fructificación 97.4 % y para cosecha en 162.7 %. Para CE, en floración el nivel de 3 dS m⁻¹ registró los valores más altos con respecto a 1 dS m⁻¹ en 65.2 %, respectivamente; en la etapa vegetativa, fructificación y de cosecha, no se presentaron diferencias estadísticas, pero se registró la misma tendencia: a mayor CE mayor MST (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Comparación de medias de materia seca total de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante.

FV Población	Materia seca total (g planta ⁻¹)			
	Vegetativa	Floración	Fructificación	Cosecha
Erguida	3.1 a	19.6 a	55.2 a	230.6 a
Decumbente	2.3 b	12.1 b	28.0 b	87.8 b
CE (dS m⁻¹)				
1	2.4 a	11.9 b	34.2 a	147.1 a
2	2.7 a	15.9 ab	38.2 a	164.5 a
3	3.0 a	19.7 a	52.4 a	165.9 a

CE: conductividad eléctrica. Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

La combinación Pob x CE mostró que el cultivo de ambas poblaciones a 3 dS m⁻¹ favoreció la MST en etapa vegetativa (erguida = 3.4 g planta⁻¹; decumbente = 2.7 g planta⁻¹) (datos no mostrados) y floración; para la población erguida en fructificación y para la decumbente en cosecha. Una CE de 2 dS m⁻¹ favoreció a la decumbente en la etapa de fructificación y a la erguida en cosecha (Figura 4.8).

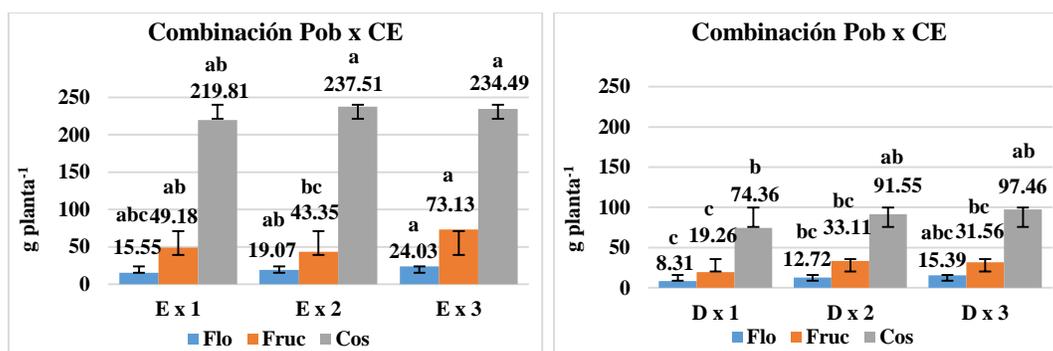


Figura 4.8. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en la materia seca total de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x 1: erguida x 1 dS m⁻¹; E x 2: erguida x 2 dS m⁻¹; E x 3: erguida x 3 dS m⁻¹; D x 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; D x 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; D x 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante. Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

La acumulación de materia seca en ambas poblaciones tuvo la misma dinámica, con una mayor acumulación en la población erguida, condición que se atribuye a las características de ambas poblaciones, ya que la población erguida presenta un mayor desarrollo vegetativo con una altura de planta mayor, diámetro de tallo más grueso, más ramificaciones y número de hojas (Flores-Sánchez *et al.*, 2021). El mayor incremento de MST para ambas poblaciones se presentó a partir de los 45 ddt, correspondiente a la etapa de fructificación (Figura 4.9).

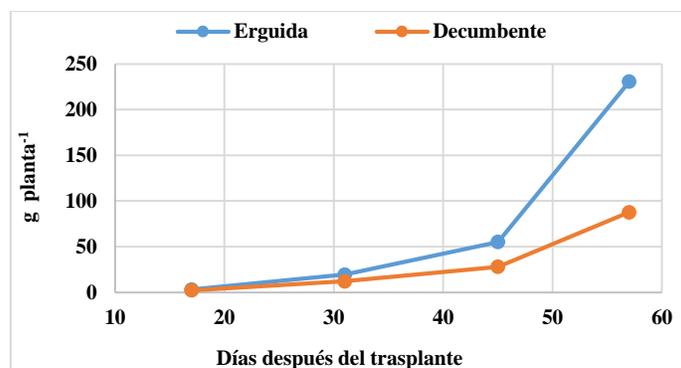


Figura 4.9. Dinámica de acumulación de materia seca de dos poblaciones de *J. procumbens*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante.

4.5.7 Orden de acumulación de materia seca total por estructura vegetal

La importancia en la distribución de la materia seca, es debida a que el rendimiento de un cultivo está dado por su capacidad de acumular biomasa en los órganos destinados a la cosecha (Gandica y Peña, 2015).

La distribución de la materia seca en la población erguida, estuvo en el orden de: H>R>T>ER en la etapa vegetativa y floración, R>T>H>ER para la etapa de fructificación y, ER>R>T>H en etapa de cosecha (Figura 4.10); esto indicaría que en las primeras etapas, esta población enfoca la producción de material vegetativo, para generar los fotosintatos que serán almacenados y posteriormente trasladados a los frutos, que representan el principal sitio de demanda para el periodo de cosecha, compitiendo entre ellos y con las estructuras vegetativas por los fotoasimilados disponibles (Gandica y Peña, 2015).

Por el contrario, en la población decumbente, con excepción de la etapa vegetativa que presentó un orden de acumulación igual a la erguida (H>R>T>ER), para las siguientes tres etapas, se registró una mayor acumulación de MST en raíz y hoja (floración = R>H>T>ER, fructificación = R>H>ER>T) y, raíz y estructuras reproductivas (cosecha = R>ER>H>T) (Figura 4.10); además, se observó que ésta población destinó menor tiempo en acumulación de materia seca en estructuras de almacenamiento, destinando los fotoasimilados generados a abastecer la demanda en el desarrollo de los frutos. Esto se debe a la naturaleza de ambos genotipos, ya que la población erguida, presenta una continua y superior generación de ramificaciones, inflorescencias y frutos, que la decumbente, por lo que requiere una mayor acumulación de reservas para abastecer de fotoasimilados a los sitios de mayor demanda en etapa de fructificación y cosecha; lo que explica

también, el menor tamaño y peso de fruto reportado para la población erguida (Flores-Sánchez *et al.*, 2021); ya que, a mayor número de frutos por planta, una menor partición de materia seca a cada uno de éstos (Pérez-Labrada *et al.*, 2016).

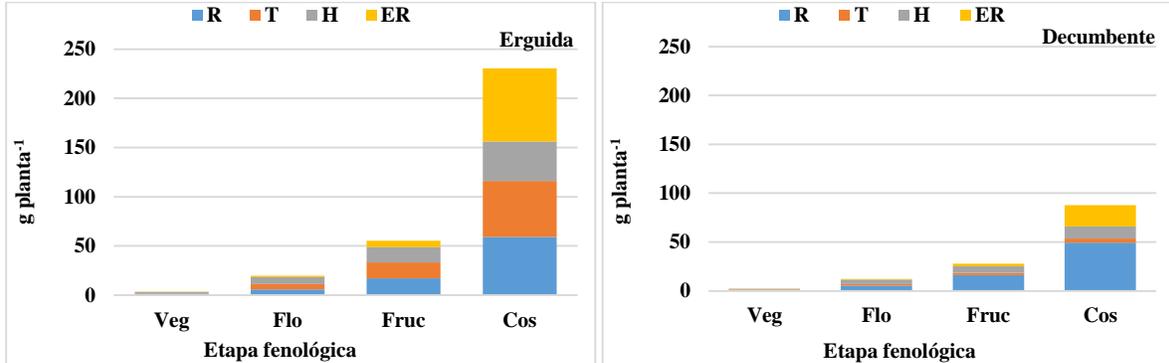


Figura 4.10. Acumulación de materia seca por hoja (H), tallo (T), raíz (R) y estructuras reproductivas (ER) en etapa vegetativa (Veg), floración (Flo), fructificación (Fruc) y cosecha (Cos) de dos poblaciones de *J. procumbens*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Septiembre 2020– febrero 2021. Datos tomados entre los 17 y 129 días después del trasplante.

4.6 CONCLUSIONES

Se registró, entre poblaciones y etapas fenológicas, una variabilidad en la concentración de macro y micronutrientes, y acumulación de materia seca total.

La población erguida absorbió mayor cantidad de N, P y Mo, mientras que la decumbente lo hizo para Ca, B, Fe y Zn.

El cultivo de ambas poblaciones en alta conductividad eléctrica, favoreció la acumulación de materia seca total.

Debido a esta variabilidad, se requieren planes de fertilización específicos para cada población. La absorción nutrimental y biomasa óptima se logra con la solución nutritiva con conductividad eléctrica de 2 y 3 dS m⁻¹, para la población erecta y decumbente, respectivamente, en condiciones de hidroponía e invernadero.

CAPÍTULO V. CALIDAD DE FRUTO DE DOS POBLACIONES DE *Jaltomata procumbens* (CAV.) J.L. GENTRY

5.1 RESUMEN

La reducida diversidad de alimentos disponibles en la actualidad, es uno de los problemas que lleva a situaciones de malnutrición en la población. Las especies silvestres y semi-domesticadas son una alternativa para atender esta problemática, pero poca atención se ha puesto en estos recursos careciendo de información sobre caracterización y cultivo. La especie *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry, semi-domesticada y de uso alimenticio, cumple con los criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios y, tiene el potencial para ser estudiada en ambientes controlados. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad de fruto de dos poblaciones de *J. procumbens*, por efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y poda de la planta, en invernadero e hidroponía. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, de julio a diciembre de 2019. Se aplicaron los siguientes tratamientos en un sistema hidropónico abierto: dos poblaciones (erguida y decumbente), tres niveles de conductividad eléctrica (CE): 1, 2 y 3 dS m⁻¹ y dos niveles de poda (con y sin poda). Las variables evaluadas fueron: diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (% SST), acidez titulable (% AT), relación SST / AT, pH y color de fruto. En ambas poblaciones, las condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía promovieron características como tamaño y peso de fruto, % SST y relación SST / AT. La calidad de fruto óptima se obtuvo con poda y, con el cultivo a 1 y 2 dS m⁻¹ de CE para la población erguida y decumbente, respectivamente.

Palabras clave: recursos nativos, nuevos recursos vegetales, hidroponía, agricultura protegida.

5.2 ABSTRACT

Currently, the reduced biodiversity of available foods is one of the problems that leads to situations of malnutrition in the population. Semi-domesticated and wild species are an alternative to address this problem, although little attention has given to this resources lacking information on cultivation and characterization. The semi-domesticated species *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry, used as food, meets the criteria to consider new plant resources for food purposes, and it has the potential to be studied in controlled environments. The objective of the research was to

evaluate fruit quality characters of two *J. procumbens* populations, due to the effect of the electrical conductivity of the nutrient solution and the pruning of the plant, in greenhouse and hydroponics. The research was carried out at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, State of Mexico, from July to December 2019. The following treatments were applied in an open hydroponic system: two populations (erect and decumbent), three electrical conductivity levels (CE): 1, 2, and 3 dS m⁻¹ and two pruning levels (with and without pruning). The variables evaluated were: equatorial (DE) and polar (DP) diameter, fruit weight (PF), total soluble solids (% SST), titratable acidity (% AT), SST / AT ratio, pH and fruit color. For both populations, greenhouse and hydroponic growing conditions promoted characteristics as size and weight of fruit, % SST, and SST / AT ratio. The optimal fruit quality was got with pruning and, with 1 and 2 dS m⁻¹ of CE, for the erect and decumbent populations, respectively.

Keywords: native resources, new plant resources, hydroponics, protected agriculture.

5.3 INTRODUCCIÓN

La población actual enfrenta el problema de una reducida diversidad de alimentos disponibles, lo que lleva a situaciones de malnutrición. De la diversidad de especies de plantas estimadas (5,538 especies) que han sido cultivadas, domesticadas o recolectadas de su ambiente natural para su aprovechamiento (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019), el maíz, arroz y trigo contribuyen con el 60 % de las calorías en la dieta humana, lo que lleva a una inadecuada ingesta de nutrientes, minerales y vitaminas en términos de calidad y cantidad, situación vinculada, con una limitada diversidad de la producción agrícola (Li *et al.*, 2018).

Las especies silvestres y semi-domesticadas, se consideran una alternativa viable para contribuir a solucionar dichas problemáticas; a partir de las cuales, el desarrollo de nuevos cultivos, podría incrementar el suministro general de alimentos (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019); además, presentan la cualidad de ser resilientes a condiciones ambientales, son económicamente viables y están localmente disponibles (Li *et al.*, 2018).

La especie *Jaltomata procumbens*, de hábito de crecimiento erguido y color de fruto azul-negrusco, es una especie arvense con uso alimenticio en México, considerada semi-domesticada; presenta una variante en regiones específicas del país, de hábito de crecimiento decumbente y color de fruto verde, en estado maduro; la primera se encuentra como ruderal y arvense, y la segunda

como arvense; sus frutos se colectan y consumen en fresco o en algunas preparaciones (Flores-Sánchez *et al.*, 2021). Cumple con los criterios para considerar nuevos recursos vegetales con propósitos alimenticios (J. Sarukhán, 2020, Comunicación Personal): plantas comestibles por el hombre, plantas de alto valor nutricional, plantas que no requieren de procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización, y plantas que de preferencia sean nativas de México. De la evaluación de caracteres agronómicos en ambas poblaciones, estas se consideran con potencial para ser consideradas en estudios en ambientes controlados (Flores-Sánchez *et al.*, 2021).

No obstante, la poca atención que se les ha dado, ha llevado a una escasez de información sobre su caracterización, cultivo, y de evaluación para su mejoramiento (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019). Un aspecto importante es la calidad del producto obtenido, característica que en programas de mejoramiento de cultivos, hasta ahora, ha sido casi totalmente ignorada (Alseekh *et al.*, 2018).

De los frutos de ambas poblaciones de *J. procumbens*, se han realizado estudios de análisis proximal y de azúcares (Williams, 1985), y en la de fruto azul-negrusco de contenido nutrimental y propiedad antioxidante (Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016; Mera-Ovando *et al.*, 2003). Sin embargo, se requieren más estudios sobre la calidad de fruto de ambas poblaciones, sobre todo cuando se estudian para su posible utilización bajo condiciones de cultivo, ya que son sometidas a condiciones diferentes de su ambiente natural.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar caracteres de calidad de fruto de dos poblaciones de *Jaltomata procumbens*, por efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y poda de la planta bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizó en el periodo de julio a diciembre de 2019, en un sistema hidropónico abierto.

5.4.1 Material genético

Se evaluaron dos poblaciones, erguida y decumbente, de *J. procumbens*, procedentes de Tlaxcala, México (19° 15' N y 97° 53' O; a 2500 m de altitud); clima predominante templado

subhúmedo C (w1) y C (w2), temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Se utilizaron semillas de frutos maduros, recolectados en el año 2015. La semilla se enjuagó con agua de la llave, después, se secó bajo la sombra a temperatura ambiente, se almacenó en frascos de plástico de 30 mL y se mantuvo en condiciones de refrigeración a 4 °C.

5.4.2 Manejo de experimento

El material vegetal, se obtuvo de un experimento para romper la latencia de la especie. Se utilizó una cámara de germinación con condiciones diurnas (12 h a 30 °C) y nocturnas (12 h a 20 °C). Las plántulas obtenidas, se transfirieron a vasos de plástico de 24 mL utilizando turba como sustrato y se regaron con agua destilada. Con las primeras hojas verdaderas se colocaron en invernadero, con malla sombra 40 % y se regaron con agua de la llave (pH 7.7 y CE 0.5 dS m⁻¹). Después, se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL con tezontle rojo como sustrato (4 a 10 mm de diámetro de partícula); se regó con solución nutritiva Steiner a 1 dS m⁻¹ de CE, hasta alcanzar una altura de 15 cm.

El trasplante final se realizó a los 40 días después de la siembra. Se utilizaron bolsas de polietileno negro 40x40 (13 L), con tezontle rojo como sustrato (diámetro ≤ 12 mm, densidad de 0.78 g cm⁻³ y retención de humedad 21.87 %). Se realizó tutorado con rafia tomatera, amarrando tallos principales y ramificaciones.

Se aplicaron tres concentraciones de solución nutritiva Steiner (1984), complementada con micronutrientes aplicados proporcionalmente a cada nivel de CE: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, dosificadas desde el trasplante; el volumen de riego aplicado cada día fue de 0.23 a 1 L por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento. El pH se mantuvo en el intervalo de 5.5 a 6.5. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitorearon con un equipo portátil (Combo Waterproof HI-98129).

Para el manejo de poda, se aplicaron los tratamientos con poda (CP) y sin poda (SP). En las plantas podadas, se eliminaron brotes laterales y basales, permitiendo la ramificación normal de la planta.

Se presentaron plagas como escarabajo pulga de la papa (*Epitrix cucumeris*); trips (*Thysanoptera* sp.), chinche fétida verde (*Acrosternum hilare*) y marrón (*Euschistus servus*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y pulgón (*Aphididae* sp.). También patógenos como cenicilla

(*Oidium* sp.) y *Cercospora* sp. El gusano soldado, se eliminó de manera manual; para los demás patógenos y plagas se utilizó: mancozeb (3.5 g L⁻¹), abamectina (3 mL L⁻¹) y bicarbonato de sodio (20 g L⁻¹).

5.4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta con un total de 48 unidades experimentales.

5.4.4 Variables evaluadas

Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)

Se determinaron en cada unidad experimental al registrar el diámetro de 25 frutos en madurez fisiológica, con un vernier graduado en mm.

Peso de fruto (PF)

Se determinó en cada unidad experimental al obtener el peso promedio (g) de 25 frutos en madurez fisiológica seleccionados al azar.

Sólidos solubles totales (% SST)

Se molieron 10 g de fruto fresco y se colocaron dos gotas del jugo obtenido en un refractómetro digital. El valor se reporta como porcentaje.

Acidez titulable (% AT)

Se molieron 10 g de fruto con 50 mL de agua destilada. Se obtuvo el volumen total, posteriormente se tomó una alícuota de 5 mL y se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador, y se tituló con NaOH al 0.1 N. Los valores se reportan en porcentaje de ácido cítrico (%).

Para el cálculo de la acidez, con base en ácido cítrico, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de acidez} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N NaOH} \times \text{meq} \times \text{VT} \times 100}{A \times g}$$

Donde: $mL NaOH$ = mililitros de hidróxido de sodio gastados en la titulación; $N NaOH$ = normalidad del hidróxido de sodio; meq = miliequivalentes del ácido cítrico (0.064); VT = volumen de la muestra preparada; A = alícuota tomada para la medición; g = gramos pesados del fruto.

Relación SST / AT

Se determinó al dividir el contenido de sólidos solubles totales (% SST) entre el porcentaje de acidez titulable (% AT).

pH

Se determinó el pH con un potenciómetro en la muestra generada para obtener la acidez titulable.

Color (Croma, °Hue y Luminosidad)

Con un colorímetro, se registraron en el fruto los valores L^* , a^* y b^* en dos zonas de la parte ecuatorial del fruto. Con base a Konica Minolta (2007) se calculó el ángulo Hue (°Hue) y la pureza del color (Croma) usando los valores de a^* y b^* , con las fórmulas:

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} (b / a)$$

$$\text{Croma} = \sqrt{(a^2 + b^2)}.$$

La luminosidad “L” se obtuvo directamente con el colorímetro. Para la ubicación gráfica de color se utilizó el espacio de color $L^*a^*b^*$.

5.4.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (Versión 9.0) (SAS Institute, 2002); se realizó análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 x 3 x 2 completamente al azar, una prueba de Tukey y análisis de correlación ($P \leq 0.05$).

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Población y poda afectaron todas las variables, excepto °Hue y %AT para poda. Conductividad eléctrica sólo influyó el pH y el %SST ($P \leq 0.05$). En la interacción población x poda, con excepción de °Hue, se presentaron diferencias estadísticas en todas las variables, lo que indicó, que el efecto de la poda en cada variable no fue el mismo dentro de cada población. Los

coeficientes de variación más altos se presentaron en SST / AT (28.12 %), %AT (24.61 %) y PF (21.71 %).

5.5.1 Diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP)

La población decumbente registró un mayor DE (16.52 mm) y DP (12.45 mm), superior a la erguida en 19.19 y 10.12 %, respectivamente (Cuadro 5.1). Uno de los factores que influye el tamaño de fruto, determinado por su DE y DP, es el número de frutos, donde la distribución de materia seca es mayor a menor número de dichas estructuras en la planta (Pérez-Labrada *et al.*, 2016); cantidad de materia seca relacionada con la proporción de fotoasimilados almacenados, cuya función osmótica mantiene gradientes de potencial hídricos favorables para la absorción de agua, conforme la célula se expande (Thomas, 2017). En la población decumbente se reportan 3.7 frutos por racimo y en la erguida 5.4 frutos (Flores-Sánchez *et al.*, 2021) por lo que esta situación, se relaciona con la diferencia en el número de frutos entre ambas poblaciones.

Cuadro 5.1. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica (CE) y poda en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

FV	Diámetro ecuatorial	Diámetro polar
Población	(DMSH = 0.61 mm)	(DMSH = 0.47 mm)
Erguida	13.35 b	11.19 b
Decumbente	16.52 a	12.45 a
CE (dS m ⁻¹)	(DMSH = 0.90 mm)	(DMSH = 0.69 mm)
1	15.15 a	12.02 a
2	15.06 a	11.84 a
3	14.61 a	11.61 a
Poda	(DMSH = 0.61 mm)	(DMSH = 0.47 mm)
Con poda	16.23 a	12.67 a
Sin poda	13.65 b	10.97 b

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

El efecto de la CE no presentó diferencias estadísticas; sin embargo, se observó una disminución en el tamaño del fruto al incrementar la CE (Cuadro 5.1). Un comportamiento similar se describe en el cultivo de tomate híbrido (*Solanum lycopersicum*) al aumentar la CE de 2.2 a 4.5 dS m⁻¹ (Moya *et al.*, 2017); fenómeno atribuido a un efecto osmótico, al disminuir el potencial hídrico en la planta y en consecuencia el flujo de agua al fruto, reduciendo su tasa de expansión (Salas-Pérez *et al.*, 2016). Por el contrario, en poblaciones nativas de tomate se reporta un

incremento del DE al incrementar la CE de 1 a 3 dS m⁻¹, lo que indica que la tolerancia a la salinidad varía de acuerdo al genotipo (Flores-González *et al.*, 2012) y nivel de estrés al que son sometidas; ya que, los resultados obtenidos en las poblaciones de *J. procumbens*, mostraron problemas de tolerancia a la salinidad a partir de 1 dS m⁻¹.

El efecto de la poda influyó en mayor DE (16.23 mm) y DP (12.67 mm), siendo 18.90 y 15.50 % superior al tratamiento sin poda (DE = 13.65 mm, DP = 10.97 mm) (Cuadro 5.1); lo que indica el efecto positivo de la poda, al inducir la remoción de sustancias de reserva, regulando el crecimiento vegetativo y reproductivo y, mejorando la calidad del fruto (Casuriaga *et al.*, 2020). En su ambiente natural, se reporta en la población decumbente un DE de 13.60 mm y para la erguida, de 10.90 mm (Coe, 1997). Considerando el criterio de calidad para frutos de arándano, el tamaño obtenido en ambas poblaciones, supera el mínimo requerido de 10 mm (Bolaños-Alcántara *et al.*, 2019).

5.5.2 Peso de fruto

La población decumbente tuvo mayor PF (2.18 g), superior en 60.29 % respecto a la erguida (1.36 g). El efecto de la CE y poda mostraron el mismo patrón que el observado para el DE y DP, en donde al aumentar la CE disminuyó el PF, aunque no hubo diferencias estadísticas entre los niveles de CE; por otro lado, el manejo con poda lo incrementó (Cuadro 5.2). Este comportamiento contrasta con lo reportado en un híbrido comercial tipo bola de *Solanum lycopersicon* (Martínez-Damián *et al.*, 2017) y en *Physalis peruviana* (Colli-Cortés *et al.*, 2020), donde a mayor CE mayor peso de fruto. Por el contrario, en cuatro genotipos silvestres de *Solanum lycopersicon*, se reportó que a mayor CE es menor el peso de fruto (Martínez-Damián *et al.*, 2017), comportamiento similar a lo registrado en este trabajo. Esto indica que el efecto de la CE depende del genotipo, en donde al incrementar la CE los genotipos tienen problemas de tolerancia a la salinidad, afectando la expansión del fruto, por la disminución del potencial hídrico en la planta, reduciendo la acumulación de fotoasimilados (Dorai *et al.*, 2001).

Cuadro 5.2. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda en el peso de fruto de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

Variable	FV						
	Población (DMSH = 0.23 g)		Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) (DMSH = 0.33 g)			Poda (DMSH = 0.23 g)	
	Erguida	Decumbente	1	2	3	Con poda	Sin poda
Peso de fruto (g)	1.36 b	2.18 a	1.85 a	1.81 a	1.64 a	2.22 a	1.32 b

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

En cambio, con la poda, al reducir el número de órganos de demanda como los brotes, disminuyó la competencia entre órganos, y promovió la remoción de sustancias de reserva hacia el fruto, que junto con las semillas, es la principal fuente de demanda en etapa reproductiva (Falchi *et al.*, 2020). El PF correlacionó de manera positiva con DE ($r = 0.97407$) y DP ($r = 0.96952$), mostrando que al incrementar los valores de DE y DP lo hace el PF.

5.5.3 Porcentaje de sólidos solubles totales y acidez titulable

La población decumbente registró mayor porcentaje de SST (10.27 %) superior en 12.12 % a la erguida que obtuvo 9.16 % de SST (Cuadro 5.3). Se describe que entre el tamaño del fruto y contenido de SST hay una relación inversamente proporcional, como la reportada en tomate (*Solanum lycopersicon*) en el que, mientras más pequeño el fruto mayor contenido de éstos (Beckles, 2012); sin embargo, en estas poblaciones se registró una correlación positiva con DE ($r = 0.49011$) y DP ($r = 0.40344$), esto indica que mientras más grande el fruto mayor contenido de SST. Por lo tanto, este comportamiento puede responder más al número de frutos que a su tamaño y a mayores temperaturas presentadas durante el cultivo. La partición de materia seca, cuyo contenido se ve reflejado en el porcentaje de SST (Beckles, 2012), está influenciada por la cantidad de frutos presentes en la planta (Pérez-Labrada *et al.*, 2016). En la población erguida se presenta una mayor cantidad de frutos por racimo que en la decumbente. Por su parte, una alta temperatura, incrementa directamente la importación de azúcares (Villette *et al.*, 2020). Durante el desarrollo del cultivo, se registraron temperaturas de hasta 38.5 °C.

Cuadro 5.3. Porcentaje de sólidos solubles y de acidez titulable de frutos, de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

FV	Sólidos Solubles Totales	Acidez Titulable (%)
	(%) (DMSH = 0.48 %)	(DMSH = 0.05 %)
Erguida	9.16 b	0.46 a
Decumbente	10.27 a	0.21 b

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

El mayor porcentaje de AT lo presentó la población erguida con 0.46 %, superando en 119 % a la decumbente (0.21 % AT) (Cuadro 5.3). La AT, a través de la cual se determina el contenido de los ácidos cítrico o málico, los más abundantes en muchos frutos, es influenciada por factores ambientales, genéticos y prácticas culturales como nutrición mineral, carga de fruto o poda (Famiani *et al.*, 2015); sin embargo, la vía por la cual los ácidos orgánicos son metabolizados y regulados en la planta, permanece insuficientemente entendida (Batista-Silva *et al.*, 2018).

Con respecto a CE, los valores más altos de SST se obtuvieron con 2 dS m⁻¹ (10.09 % SST), observando un efecto negativo a 3 dS m⁻¹ de CE, al reducirse los SST en 3.38 % respecto a 2 dS m⁻¹, pero sin ser estadísticamente diferentes; no obstante, este nivel de CE presentó diferencias estadísticas en comparación a 1 dS m⁻¹ que registró el valor más bajo en 8.6 %. Para % AT, al incrementar la CE disminuyó su valor aunque no se presentaron diferencias estadísticas entre el valor más alto (0.36 % AT) y bajo (0.32 % AT), obtenidos con 1 y 2 dS m⁻¹ de CE, respectivamente (Figura 5.1). Esto podría responder a una mayor presencia de K⁺ en el fruto, determinada por una mayor concentración de éste elemento en la solución nutritiva y por una alta acumulación en el fruto debido a un incremento de la temperatura observada durante el cultivo, que favorecen el estrés hídrico en la planta y la sobre-regulación del sistema de transporte de K⁺, que lleva a una mayor carga de este elemento en la célula; lo que ocasiona, una neutralización eléctrica de los ácidos orgánicos (Villette *et al.*, 2020).

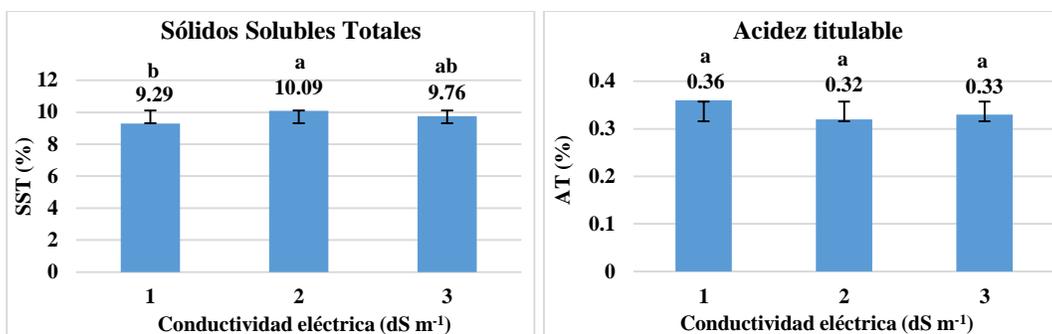


Figura 5.1. Efecto de la conductividad eléctrica en sólidos solubles totales (SST %) y de acidez titulable (AT %) de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt). DMSH: SST % = 0.71 %; AT % = 0.07 %. Letras diferentes en barras indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

El comportamiento observado en el contenido de %SST y %AT, contrasta al reportado en tomate (*Solanum lycopersicon*), donde a mayores niveles de CE incrementan los SST y la AT (Moya *et al.*, 2017; Martínez-Damián *et al.*, 2017).

El manejo CP promovió un mayor porcentaje de SST (10.07 %) con 7.70 % más respecto a SP (9.35 % SST), lo que indica que con CP se promueve la translocación de materia seca hacia los frutos, mejorando la calidad de estos. En %AT, no se presentaron diferencias estadísticas, pero se registró que con CP disminuyen (Cuadro 5.4). El porcentaje de SST en la población decumbente, desde el punto de vista comercial, se encuentran arriba del mínimo aceptable para frutos como arándano (10 % SST) (Bolaños-Alcántara *et al.*, 2019); para la erguida, se ubica dentro del intervalo reportado para fresa (6.50 a 9.56 % SST) (Santacruz-Oviedo *et al.*, 2018). Lo que indica, una calidad comercial aceptable de los frutos obtenidos en ambiente controlado.

Cuadro 5.4. Efecto de la poda en los sólidos solubles totales (% SST) y de acidez titulable (% AT), de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

FV	Sólidos Solubles Totales (%) (DMSH = 0.48 %)	Acidez Titulable (%) (DMSH = 0.05 %)
Con poda	10.07 a	0.32 a
Sin poda	9.35 b	0.35 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5.4 Relación sólidos solubles totales y acidez titulable

Una característica importante de la calidad del fruto es la palatabilidad, que depende del balance de los ácidos orgánicos y los niveles de azúcares (Batista-Silva *et al.*, 2018). La población

decumbente registró un valor más alto (56.25) que la erguida (20.89) en un 169.37 %. La CE no mostró diferencias estadísticas, sin embargo, se observó que al incrementar los niveles de CE aumentan los valores de la relación SST / AT. El manejo CP obtuvo el valor más alto con 46.64, siendo superior a SP (30.51) en un 52.87 % (Figura 5.2). Los mayores valores de la relación SST / AT, responden a porcentajes superiores de SST y menores de AT. Condición similar a la reportada en fresa (*Fragaria x ananassa*, Santacruz-Oviedo *et al.*, 2018) y arándano (*Vaccinium spp.*, Medeiros *et al.*, 2017) donde al aumentar los SST y disminuir la AT, aumenta el valor de la relación, con datos reportados de hasta 54.83 y 20.57, respectivamente. Una relación de SST / AT alta, es importante para determinar la aceptabilidad de un producto por parte del consumidor (Santacruz-Oviedo *et al.*, 2018). Con base en los resultados, el fruto de la población decumbente tendría una mayor aceptabilidad que el de la erguida; sin embargo, una disponibilidad diversa de frutos en cuanto a sabor o color, puede atender diferentes mercados con base en las preferencias del consumidor (Campbell *et al.*, 2021).

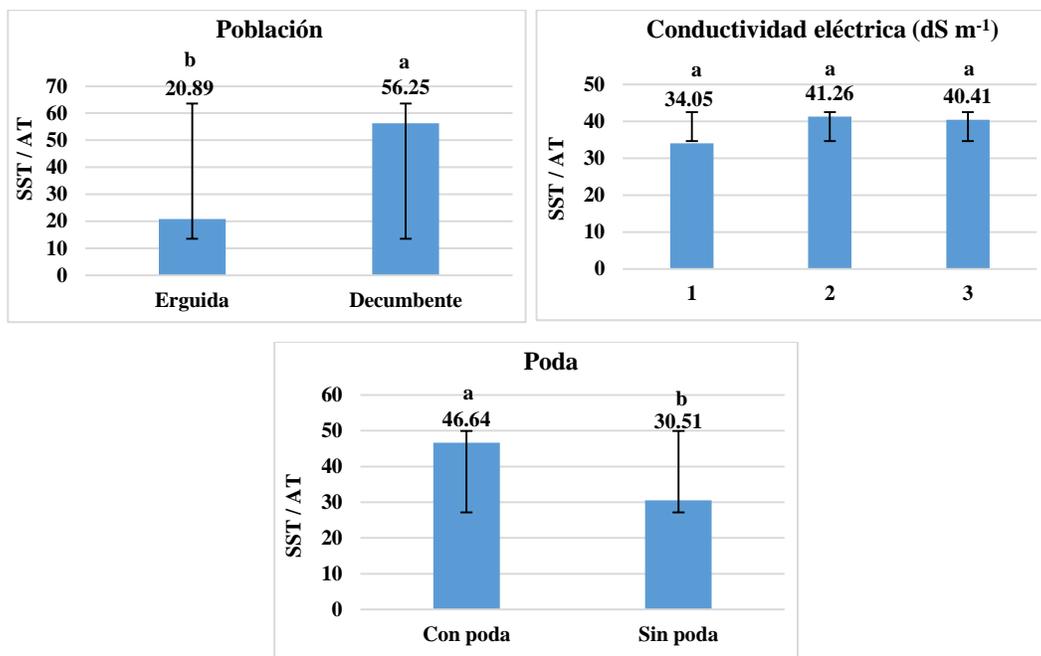


Figura 5.2. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda, en la relación SST / AT, de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5.5 pH

El pH de la población decumbente fue mayor al de la erguida en un 22.74 %. Al incrementar el nivel de CE incrementó el pH, se registró el valor más alto (pH = 4.93) con 3 dS m⁻¹ de CE, superior en 6.25 % con respecto a 1 dS m⁻¹ (pH = 4.64) que mostró el valor más bajo (Figura 5.3). Este comportamiento puede responder a la neutralización de los ácidos orgánicos, dada por una mayor acumulación de K⁺, que perturba el control del pH y el balance ácido-base de las células de la pulpa, dando frutos con una baja acidez (Villette *et al.*, 2020). El manejo CP dio frutos con un pH más elevado, siendo 5.13 % superior a SP (pH = 4.68). Con la poda se promueve la remoción de sustancias de reserva, hacia los órganos de mayor demanda (Casuriaga *et al.*, 2020; Falchi *et al.*, 2020), con lo que se estaría promoviendo una mayor carga de K⁺ en el fruto, mejorando su calidad al incrementar el pH.

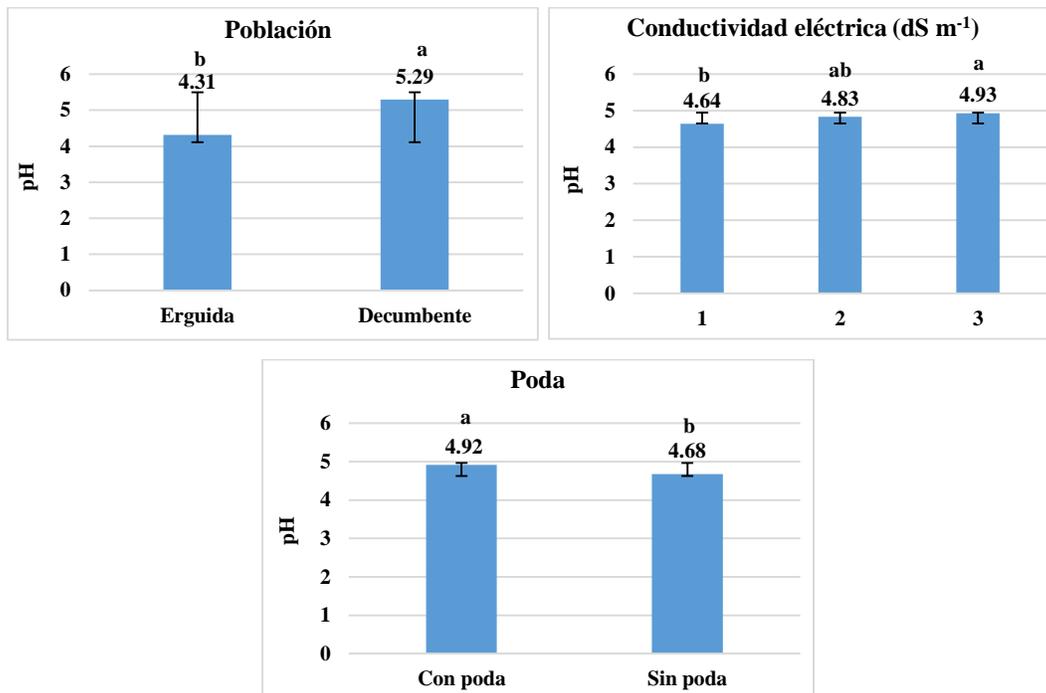


Figura 5.3. Efecto de los factores población, conductividad eléctrica y poda, en el pH de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt). Letras diferentes en barras, indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5.6 Color

La población erguida registró un ángulo Hue (°Hue) de 214.53, mayor al de la decumbente que registró 112.65 de °Hue. Esto indica para la primera población, que los frutos se encuentran

dentro del color azul, mientras que, para la segunda, dentro del color verde con una tendencia hacia el amarillo. La luminosidad y croma fueron mayores en la población decumbente, correspondiendo a un color más claro y mayor pureza o saturación de color, respectivamente (Cuadro 5.5). Valores bajos de luminosidad y croma se relacionan con frutos con color y, valores altos con frutos sin color (Campbell *et al.*, 2021).

Cuadro 5.5. Efecto de población, conductividad eléctrica (CE) y poda en el color de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 días después del trasplante (ddt).

FV	L	°Hue	Croma
Población			
Erguida	22.82 b	214.53 a	3.89 b
Decumbente	50.19 a	112.65 b	35.41 a
CE (dS m ⁻¹)			
1	36.58 a	165.29 a	20.11 a
2	37.20 a	162.74 a	20.20 a
3	35.75 a	162.73 a	18.64 a
Poda			
Con poda	40.11 a	162.75 a	21.17 a
Sin poda	32.90 b	164.43 a	18.13 b

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los valores de croma y luminosidad fueron mayores con el manejo CP, 16.77 y 21.91 %, respectivamente, respecto a SP. Para CE, con el cultivo a 2 dS m⁻¹ se registraron los valores más altos en luminosidad y croma, y con 1 dS m⁻¹ en °Hue, aunque no hubo diferencias estadísticas.

5.5.7 Población x Conductividad eléctrica (CE)

En la población decumbente con 2 dS m⁻¹ de CE favoreció el DE, DP, PF y %SST, superior con respecto a la erguida y 2 dS m⁻¹ en 27.05, 15.77, 79.23 y 13.55 %, respectivamente; con 3 dS m⁻¹ se registraron los mayores valores para pH en 22.57 % y para relación SST / AT en 200.25 %, en comparación a la población erguida y 3 dS m⁻¹ de CE (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Efecto de las combinaciones Población (Pob) x Conductividad eléctrica (CE), Pob x poda y CE x poda en diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), peso de fruto (PF), sólidos solubles totales (% SST), pH y relación SST / AT, de dos poblaciones de *J. procumbens*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Datos tomados entre los 32 y 156 ddt.

Combinación	DE	DP	PF	%SST	pH	SST / AT
Pob x CE						
Erguida x 1 dS m ⁻¹	13.53 b	11.44 bc	1.47 bc	8.99 c	4.20 b	20.00 b
Erguida x 2 dS m ⁻¹	13.27 b	10.97 c	1.30 c	9.45 bc	4.30 b	22.50 b
Erguida x 3 dS m ⁻¹	13.26 b	11.17 c	1.30 c	9.05 c	4.43 b	20.19 b
Decumbente x 1 dS m ⁻¹	16.77 a	12.60 ab	2.23 a	9.60 abc	5.08 a	48.09 a
Decumbente x2 dS m ⁻¹	16.86 a	12.70 a	2.33 a	10.73 a	5.36 a	60.04 a
Decumbente x3 dS m ⁻¹	15.95 a	12.05 abc	1.99 ab	10.48 ab	5.43 a	60.62 a
CE x Poda						
1 dS m ⁻¹ x Con poda	16.08 a	12.61 ab	2.21 a	9.44 abc	4.69 ab	38.05 abc
2 dS m ⁻¹ x Con poda	16.65 a	12.86 a	2.36 a	10.35 ab	4.98 ab	48.83 ab
3 dS m ⁻¹ x Con poda	15.97 a	12.53 ab	2.10 a	10.43 a	5.09 a	53.04 a
1 dS m ⁻¹ x Sin poda	14.22 b	11.42 bc	1.50 b	9.15 bc	4.58 b	30.05 c
2 dS m ⁻¹ x Sin poda	13.48 b	10.81 c	1.27 b	9.83 abc	4.68 ab	33.70 bc
3 dS m ⁻¹ x Sin poda	13.24 b	10.69 c	1.19 b	9.10 c	4.77 ab	27.77 c
Pob x Poda						
Erguida x Con poda	14.16 b	11.75 b	1.61 b	9.22 b	4.31 c	20.17 c
Erguida x Sin poda	12.55 c	10.63 c	1.11 c	9.11 b	4.31 c	21.62 c
Decumbente x Con poda	18.30 a	13.59 a	2.84 a	10.93 a	5.53 a	73.12 a
Decumbente x Sin poda	14.75 b	11.31 bc	1.53 bc	9.61 b	5.05 b	39.39 b

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5.8 Conductividad eléctrica (CE) x Poda

El tratamiento CP y su combinación con 2 y 3 dS m⁻¹ de CE favoreció a todas las variables (Cuadro 5.6). La poda con 2 dS m⁻¹ promovió un mayor DE, DP y PF, superior con respecto a SP y 2 dS m⁻¹ en 23.52 % para DE, 18.96 % para DP y 85.83 % para PF. El cultivo a 3 dS m⁻¹ favoreció el %SST, pH y relación SST / AT, superior en 14.62, 6.71 y 91.00 %, respectivamente.

5.5.9 Combinación Población x Poda

El tratamiento CP, en la población decumbente, favoreció todas las variables al registrar los valores más altos, superior a la erguida con el manejo CP en 29.24 % para DE, 15.66 % para DP, 76.40 % para PF, 18.55 % para %SST y 28.31 % para pH. Para la relación SST / AT, la decumbente y CP superó en 238.21 % a la erguida, que tuvo su mayor relación de SST / AT con el manejo SP (Cuadro 5.6).

5.6 CONCLUSIONES

En ambas poblaciones, el efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y poda de la planta, bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía, promovieron el tamaño y peso de fruto, porcentaje de sólidos solubles totales y relación sólidos solubles totales / acidez titulable.

La población decumbente presentó mayor tamaño y peso de fruto, porcentaje de sólidos solubles totales y relación sólidos solubles totales / acidez titulable.

La calidad de fruto óptima se obtiene con el cultivo a 1 y 2 dS m⁻¹ de CE, para la población erguida y decumbente, respectivamente.

CAPÍTULO VI. EFECTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y PODA EN EL CONTENIDO DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE FRUTOS DE *Jaltomata*

procumbens (CAV.) J. L. GENTRY¹

6.1 RESUMEN

En *J. procumbens*, semidomesticada y de uso alimenticio, se describe la presencia de varios tipos de metabolitos secundarios en una de sus poblaciones. Las condiciones de cultivo, conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva y manejo de poda, pueden influir en el contenido de metabolitos secundarios. El objetivo fue evaluar el efecto de la CE y poda, en el contenido de metabolitos de dos poblaciones de *J. procumbens*, en invernadero e hidroponía. Los tratamientos fueron: dos poblaciones (erguida y decumbente), tres niveles de CE (1, 2 y 3 dS m⁻¹) y dos niveles de poda (con y sin poda). Las variables evaluadas fueron los contenidos de ácidos fenólicos, flavonoides y terpenoides. La CE y el manejo con poda influyeron diferencialmente el contenido de cada grupo de metabolitos en ambas poblaciones, de forma individual y combinada; pero, la CE tuvo un efecto mayor que la poda. Se detectaron siete ácidos fenólicos, cuatro flavonoides y cinco terpenoides. La población erguida sobresalió en ácido siríngico, rutina y carnosol con 33.44, 36.43 y 0.26 mg 100 g⁻¹ de peso seco, respectivamente; la decumbente destacó en ácido gálico, rosmarínico y morina con 59.03, 28.31 y 61.54 mg 100 g⁻¹ de peso seco, respectivamente. Debido a la variabilidad observada, se requiere una CE y manejo de poda específico para cada población, de acuerdo al grupo de metabolitos de interés.

Palabras clave: recursos nativos, metabolitos secundarios, conductividad eléctrica, poda, hidroponía.

6.2 ABSTRACT

In *J. procumbens*, semidomesticated and used as food, the presence of many types of secondary metabolites are described in one of its populations. The growing conditions, electrical conductivity (EC) of the nutrient solution and pruning management, may influence on the secondary metabolites content. The objective was to evaluate the effect of EC and pruning on metabolite content of two *J. procumbens* populations, in greenhouse and hydroponics. Treatments

¹ Este artículo se envió a la revista Natural Product Communications

included: two populations (erect and decumbent), three EC levels (1, 2 and 3 dS m⁻¹) and two pruning levels (with and without pruning). The content of phenolic acids, flavonoids and terpenoids were evaluated. EC and pruning management influenced differentially the content on each group of metabolites in both populations, in a combined and individual way; but, EC had a higher effect than pruning. Seven phenolic acids, four flavonoids and five terpenoids were detected. The erect population stood out in syringic acid, rutin and carnosol with 33.44, 36.43 y 0.26 mg 100 g⁻¹ of dry weight, respectively; the decumbent excelled in gallic and rosmarinic acid, and morin with 59.03, 28.31 and 61.54 mg 100 g⁻¹ of dry weight, respectively. Due to the variability observed, depending on the metabolite group of interest, a specific EC and pruning management is required for each population.

Keywords: native resources, secondary metabolites, electrical conductivity, pruning, hydroponics.

6.3 INTRODUCCIÓN

La especie *Jaltomata procumbens*, en proceso de domesticación y nativa de México, de crecimiento erguido y fruto azul-negrusco, se considera viable para su futuro aprovechamiento con fines alimenticios. En el país, se encuentran diferentes poblaciones en regiones específicas, siendo una de ellas, de crecimiento decumbente y fruto verde en estado maduro. De ambas poblaciones se recolectan sus frutos y se consumen como alimento (Flores-Sánchez *et al.*, 2021).

Estudios realizados sobre *J. procumbens*, reportaron un importante contenido de nutrientes (Mera-Ovando *et al.*, 2003; Williams, 1985), de componentes benéficos como carotenoides y actividad antioxidante en la población de fruto azul-negrusco (Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016), y de su potencial para su estudio en ambientes controlados (Flores-Sánchez *et al.*, 2021), donde se emplea tecnología como invernaderos e hidroponía (Bethke y Lieth, 2016).

Este tipo de tecnología, es útil para determinar la viabilidad de nuevos recursos fitogenéticos con fines agrícolas, al facilitar el estudio de los efectos del cambio de factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que implica someter las especies a condiciones diferentes de su ambiente natural (Bustamante *et al.*, 2016). Un aspecto importante es la calidad de fruto, característica que ha sido casi totalmente ignorada en programas de mejoramiento (Alseekh *et al.*, 2018), y en donde el análisis de metabolitos secundarios, es útil para

evaluar la respuesta de la planta a factores ambientales (Sousa *et al.*, 2019), modificados por las condiciones de cultivo, y reflejada en la calidad de fruto.

Dentro de los factores que inciden en el contenido de metabolitos secundarios, bajo condiciones de cultivo, están la salinidad (Botella *et al.*, 2020), relacionada con la cantidad de iones disponibles en la zona radicular de la planta, determinada a través de la conductividad eléctrica (CE) y ante la cual, se puede generar un estrés salino a valores altos de CE, afectando la absorción de la solución nutritiva y crecimiento de la planta (Ding *et al.*, 2018), mientras que, una baja CE afecta el crecimiento y rendimiento debido a una deficiencia nutrimental (Lam *et al.*, 2020). La poda, también se reporta como un factor que incide en la síntesis de metabolitos (Liu *et al.*, 2021; Srilatha *et al.*, 2016), práctica agrícola que además permite regular el crecimiento vegetativo y reproductivo, facilita el manejo de la planta en ambientes controlados y, promueve la remoción de sustancias de reserva y mejorar la calidad del fruto (Flores-Sánchez *et al.*, 2021). Estos factores influyen en el sistema antioxidante, al inhibir o promover la actividad enzimática o la expresión de genes involucrados en la biosíntesis de metabolitos (Ding *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2016).

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la conductividad eléctrica y poda de planta en dos poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente, en el contenido de ácidos fenólicos, flavonoides y terpenoides, bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía.

6.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizó durante julio a diciembre de 2019, se suministró agua y nutrimentos vía riego por goteo sin recirculación de la solución nutritiva.

Se evaluaron dos poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente, originarias de Tlaxcala, México (19° 15' N y 97° 53' O, a 2500 m de altitud), clima templado subhúmedo C(w1) y C(w2), temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Se utilizaron frutos recolectados en el 2015, en estado maduro, a los que se les extrajo la semilla y se enjuagó con agua de la llave, se secaron bajo la sombra a temperatura ambiente, se almacenaron en frascos de plástico de 30 mL y se mantuvieron en condiciones de refrigeración a 4 °C.

6.4.1 Manejo de experimento

El material vegetal se obtuvo de un experimento previo para romper la latencia de la especie. Se utilizó una cámara de germinación con condiciones diurnas (12 h a 30 °C) y nocturnas (12 h a 20 °C). Las plántulas, se transfirieron a vasos de plástico de 24 mL con turba como sustrato, se regaron con agua destilada y después, con las primeras hojas verdaderas, se colocaron en invernadero, con malla sombra 40 % y se regaron con agua de la llave (pH 7.7 y CE 0.5 dS m⁻¹). Luego, se trasplantaron a vasos de unicel de 265 mL, con tezontle rojo como sustrato (4 a 10 mm de diámetro de partícula); se regó con solución nutritiva Steiner a 1 dS m⁻¹ de CE hasta alcanzar una altura de 15 cm. A los cuarenta días después de la siembra, se realizó el trasplante en bolsas de polietileno negro 40 x 40 (13 L), con tezontle rojo como sustrato (diámetro = 12 mm, densidad de 0.78 g cm⁻³ y 21.87 % de retención de humedad). Se realizó amarre de tallos principales y ramificaciones. Se aplicaron tres concentraciones de solución nutritiva Steiner (1984) con macro y micronutrientes aplicados proporcionalmente a cada nivel de CE: 1, 2 y 3 dS m⁻¹, dosificadas desde el trasplante; el volumen de riego aplicado diario fue de 0.23 a 1 L por planta, dependiendo de la etapa de crecimiento. El pH se mantuvo entre 5.5 a 6.5. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitorearon con un equipo portátil (Combo Waterproof HI-98129). Para el manejo de poda, se aplicaron los tratamientos con poda (CP) y sin poda (SP). En las plantas podadas se eliminaron brotes laterales y basales, permitiendo la ramificación normal de la planta. Se presentaron plagas como escarabajo pulga de la papa (*Epitrix cucumeris*), trips (*Thysanoptera* sp.), chinche fétida verde (*Acrosternum hilare*) y marrón (*Euschistus servus*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y pulgón (*Aphididae* sp.). También patógenos como cenicilla (*Oidium* sp.) y cercospora (*Cercospora* sp.). En el caso del gusano soldado, se eliminó de manera manual; para los demás patógenos y plagas se utilizó: mancozeb (3.5 g L⁻¹), abamectina (3 mL L⁻¹) y bicarbonato de sodio (20 g L⁻¹).

6.4.2 Diseño experimental

El arreglo de los tratamientos fue un diseño factorial con los siguientes factores y niveles: 2 poblaciones (erguida y decumbente), 3 niveles de conductividad eléctrica (1, 2 y 3 dS m⁻¹), 2 manejos de poda (con poda y sin poda), dando un total de 12 tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta por maceta, con un total de 48 unidades experimentales.

6.4.3 Toma y preparación de muestras

De cada unidad experimental, se cosecharon 100 g de fruto en madurez fisiológica, se molieron y se almacenaron en bolsas de polietileno de 250 g de capacidad. Se conservaron a -70 °C y después se liofilizaron.

6.4.4 Extracción

De cada muestra liofilizada, se pesó 0.5 g de material y se colocó en tubos cónicos de centrífuga de 15 mL. Después, se agregaron 5 mL de metanol al 80 %, se agitó con un vortex por 10 s (Modelo No. G560, Scientific Industries), se sometieron a un proceso de extracción a través de ultrasonido (Branson B-220) por 30 min, en intervalos de 10 min, con 5 min de descanso entre cada intervalo. Posteriormente se centrifugaron a 5000 rpm durante 5 min (Centrífuga Modelo 3765, serie 291840, Thermo Scientific). Finalmente, con una jeringa de 5 mL, se tomó 1 mL de la extracción y se colocó en un vial de 1 mL de capacidad. Estas muestras se conservaron a 4 °C hasta análisis por medio de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC).

6.4.5 Identificación de metabolitos secundarios por HPLC

La identificación de ácidos fenólicos y flavonoides se realizó con base en el método de Aguiñiga-Sánchez et al. (2017) con modificaciones. Se usó un cromatógrafo de líquidos (Agilent modelo 1100), con un inyector automático (modelo 1200) y un detector de arreglo de diodos (modelo 1100). Se utilizó una columna Hewlett Packard Hypersil ODS (125 x 40 mm), con un gradiente de (A) H₂O a pH 2.5 con ácido trifluoroacético y (B) acetonitrilo (ACN), velocidad de flujo = 1 mL min⁻¹ y temperatura = 30 °C, con un volumen de inyección variable y tiempo de análisis de 25 min. Las longitudes de onda usadas fueron: $\lambda_1 = 254$, $\lambda_2 = 280$, $\lambda_3 = 330$ y $\lambda_4 = 365$ nm. Se obtuvieron los espectros de absorción de las muestras analizadas y se compararon con la de los estándares. Se crearon las curvas de calibración en las distintas longitudes de onda.

Para la identificación de terpenoides se usó una columna Zorbax Eclipse XDB C-8 (125 x 4.0 mm d. i., 5 μ m), con un gradiente de (A) ACN: 80 % y (B) H₂O: 20 %, velocidad de flujo = 1 mL min⁻¹ y temperatura = 40 °C. La longitud de onda usada fue de 220 nm, volumen de inyección = 20 μ L. Se obtuvo el espectro de absorción de las muestras analizadas y se compararon con la de

los estándares. Se crearon las curvas de calibración en las distintas longitudes de onda. Los estándares de referencia fueron de la marca Sigma-Aldrich, USA (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Estándares de referencia de ácidos fenólicos, flavonoides y terpenoides.

Flavonoides		Compuesto		Longitud de onda
		Ácidos fenólicos		
Rutina		Protocatecuico	3,5-di-hidroxibenzoico	254
Morina		<i>p</i> -hidroxibenzoico	Vainillico o caféico	
Quercetina		β -resorcílico		
Catequina	Naringenina	Gálico		280
Hesperidina	Floretina	Siríngico		
Floridtzina		<i>p</i> -cumárico		
Apigenina		Clorogénico	Ferúlico	330
		Sinápico	Rosmarínico	
Miricetina				365
Kaempferol				
Isorhamnetina				
		Terpenoides		
Carnosol		Estigmasterol		
Ácido ursólico		Alfa-amirina		220
Ácido oleanólico		β -sitosterol		

6.4.6 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico SAS (2008) versión 9.2; se realizó análisis de varianza, con base en un modelo factorial 2 x 3 x 2 completamente al azar y una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

6.5 RESULTADOS

De los ácidos fenólicos, se detectó sinápico, siríngico, ferúlico, rosmarínico, vainillico, gálico, *p*-cumárico; para flavonoides, miricetina, rutina, morina y quercetina; y en terpenoides, carnosol, estigmasterol, β - sitosterol y los ácidos ursólico y oleanólico.

El factor población (Pob) tuvo un efecto en el contenido de flavonoides, en el terpenoide carnosol y en ácidos fenólicos, con excepción de los ácidos sinápico y vainillico. El factor conductividad eléctrica (CE), tuvo un efecto en el contenido del ácido rosmarínico ($P \leq 0.05$). La interacción Pob x poda presentó diferencias estadísticas en ácido sinápico, mientras que CE x poda

lo hizo en los ácidos rosmarínico y vainillico, lo que indicó que el efecto de la poda para estos metabolitos no fue el mismo dentro de cada población y nivel de CE. Los valores de coeficientes de variación más altos se presentaron en los ácidos rosmarínico (30.42 %), sinápico (33.51 %), ferúlico (37.15 %), quercetina (40.26 %), morina (40.54 %), estigmasterol (46.5 %), rutina (47.74 %), β -sitosterol (50.64 %), *p*-cumárico (54.58 %), y carnosol (74.76 %).

6.5.1 Ácidos fenólicos

La población erguida presentó mayor contenido de ácido siríngico, ferúlico y *p*-cumárico, superior a la decumbente en 32.12, 34.61 y 67.14 %, respectivamente. La decumbente, tuvo mayor contenido de ácido rosmarínico (30.46 %) y gálico (25.57 %) que la erguida (Figura 6.1).

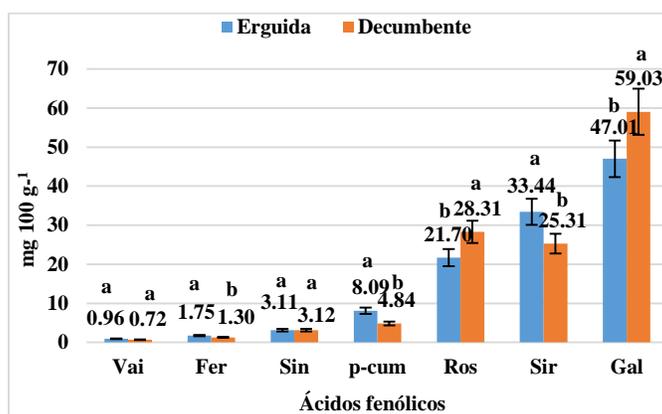


Figura 6.1. Concentración de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Vai = vainillico, Fer = ferúlico, Sin = sinápico, *p*-cum = *p*-cumárico, Ros = rosmarínico, Sir = siríngico, Gal = gálico. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Letras diferentes en barras indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

La conductividad eléctrica (CE) afectó el contenido de ácido rosmarínico, se observó una disminución al incrementar la CE, con una diferencia de 38.91 % entre 1 dS m⁻¹ y 2 dS m⁻¹ de CE que registró el valor más bajo y después incrementó con 3 dS m⁻¹ pero, sin diferencias estadísticas con las anteriores. En el contenido de ácido vainillico y *p*-cumárico se observó el mismo comportamiento que el de ácido rosmarínico, aunque obtuvieron los valores más altos con 3 dS m⁻¹ y 1 dS m⁻¹, respectivamente, en ácido sinápico y ferúlico, hubo un incremento con 2 dS m⁻¹ y después disminuyó al aumentar la CE, en ácido siríngico se registró una disminución de su contenido conforme aumentó la CE, mientras que, en ácido gálico se observó un comportamiento contrario al aumentar la CE, pero sin diferencias estadísticas. El manejo CP, favoreció el contenido

de los ácidos sinápico, siríngico, ferúlico, rosmarínico y gálico, mientras que el manejo SP en los ácidos vainillico y *p*-cumárico, aunque no hubo diferencias estadísticas (Anexo 6.1).

6.5.1.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda

En ácido rosmarínico el cultivo CP x 3 dS m⁻¹ registró el mayor contenido, superior en 81.91 % con respecto a CP x 2 dS m⁻¹ que tuvo el valor más bajo. Cabe resaltar, que el resultado obtenido con 3 dS m⁻¹ x CP fue mayor a los registrados de manera individual para CE (3 dS m⁻¹) y CP, observándose el efecto positivo de dicha combinación. Dentro de las combinaciones del manejo SP y los niveles de CE, no hubo diferencias estadísticas en el contenido de ácido rosmarínico, pero se observó que al aumentar la CE disminuyó su valor en el fruto (Cuadro 6.2). Por otro lado, se observó el efecto positivo de SP x 1 dS m⁻¹, al obtener un valor más alto que los obtenidos con SP y, 2 y 3 dS m⁻¹ de CE, de manera individual.

Cuadro 6.2. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. 1 x CP: 1 dS m⁻¹ x con poda; 2 x CP: 2 dS m⁻¹ x con poda; 3 x CP: 3 dS m⁻¹ x con poda; 1 x SP: 1 dS m⁻¹ x sin poda; 2 x SP: 2 dS m⁻¹ x sin poda; 3 x SP: 3 dS m⁻¹ x sin poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Ácidos fenólicos (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)						
	CE x Poda	Sinápico	Siríngico	Ferúlico	Rosmarínico	Vainillico	Gálico
1 x CP	2.90 a	33.39 a	1.57 a	29.28 ab	0.98 a	51.49 a	7.78 a
2 x CP	4.14 a	30.00 a	1.86 a	17.36 b	0.42 a	57.09 a	4.84 a
3 x CP	2.71 a	26.24 a	1.39 a	31.58 a	1.04 a	52.08 a	4.81 a
1 x SP	2.82 a	28.58 a	1.46 a	27.20 ab	0.85 a	46.73 a	6.59 a
2 x SP	3.01 a	30.11 a	1.35 a	23.30 ab	0.94 a	49.35 a	7.12 a
3 x SP	3.12 a	27.94 a	1.54 a	21.30 ab	0.82 a	61.37 a	7.65 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el contenido de los demás ácidos se observó que CP x 1 dS m⁻¹ favoreció el contenido de ácido siríngico y *p*-cumárico, con 2 dS m⁻¹ en ácido sinápico y ferúlico, y con 3 dS m⁻¹ en vainillico, mientras que el manejo SP x 3 dS m⁻¹ de CE favoreció el contenido de ácido gálico, aunque no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 6.2).

6.5.1.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)

En la población erguida, el cultivo a 1 dS m⁻¹ favoreció el contenido de ácido siríngico, superior en 39.76 % a la decumbente que registró su valor más alto con 2 dS m⁻¹ de CE. En los

demás ácidos se observó que en la población erguida una CE de 1 dS m⁻¹ favoreció el contenido de ácido rosmarínico y *p*-cumárico, con 2 dS m⁻¹ en ácido ferúlico, vainillico y gálico, y con 3 dS m⁻¹ en ácido sinápico. En la decumbente, 2 dS m⁻¹ favoreció el contenido de ácido sinápico y *p*-cumárico, con 3 dS m⁻¹ en ácido ferúlico y gálico, y con 1 dS m⁻¹ en ácido rosmarínico y vainillico, pero sin diferencias estadísticas (Cuadro 6.3).

Cuadro 6.3. Efecto de la combinación población (Pob) x CE en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x 1: erguida x 1 dS m⁻¹; E x 2: erguida x 2 dS m⁻¹; E x 3: erguida x 3 dS m⁻¹; D x 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; D x 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; D x 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Ácidos fenólicos (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)						
	Pob x CE	Sinápico	Siríngico	Ferúlico	Rosmarínico	Vainillico	Gálico
E x 1	3.03 a	37.58 a	1.73 a	23.69 a	0.93 a	46.05 a	9.73 a
E x 2	3.10 a	33.21 ab	2.04 a	19.89 a	0.99 a	48.82 a	6.98 a
E x 3	3.20 a	29.52 bc	1.47 a	21.52 a	0.97 a	46.16 a	7.55 a
D x 1	2.69 a	24.39 c	1.29 a	32.79 a	0.90 a	52.18 a	4.63 a
D x 2	4.05 a	26.89 bc	1.17 a	20.77 a	0.37 a	57.62 a	4.98 a
D x 3	2.62 a	24.66 c	1.45 a	31.37 a	0.89 a	67.28 a	4.91 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.1.3 Combinación población (Pob) x poda

El manejo CP favoreció en ambas poblaciones el contenido de ácido siríngico, ferúlico, rosmarínico y gálico. En el ácido. sinápico y vainillico, a la decumbente le favoreció el manejo CP, y en la erguida el manejo SP; mientras que, en ambas poblaciones el manejo SP lo hizo en el ácido *p*-cumárico, pero sin diferencias estadísticas (Cuadro 6.4).

Cuadro 6.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x CP: erguida x con poda; E x SP: erguida x sin poda; D x CP: decumbente x con poda; D x SP: decumbente x sin poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Ácidos fenólicos (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)						
	Pob x Poda	Sinápico	Siríngico	Ferúlico	Rosmarínico	Vainillico	Gálico
E x CP	2.85 a	33.83 a	1.87 a	23.16 a	0.84 a	47.39 a	7.47 a
E x SP	3.37 a	33.05 a	1.63 a	20.23 a	1.08 a	46.63 a	8.71 a
D x CP	3.65 a	25.91 a	1.34 a	28.99 a	0.79 a	59.72 a	4.15 a
D x SP	2.60 a	24.71 a	1.27 a	27.63 a	0.66 a	58.33 a	5.53 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.2 Flavonoides

La población erguida tuvo mayor contenido de rutina, superior en 161.33 % a la decumbente. Por el contrario, la decumbente fue superior respecto a la erguida para quercetina en 37.16 %, miricetina en 91.19 % y morina en 977.76 % (Figura 6.2).

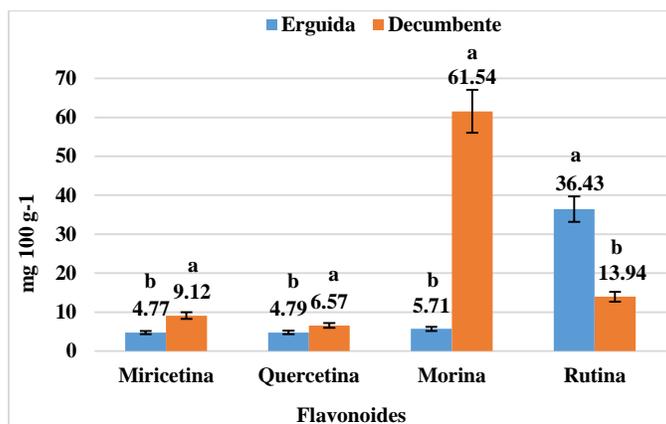


Figura 6.2. Contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Letras diferentes en barras indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para conductividad eléctrica (CE), se observó una disminución de los valores con 2 dS m^{-1} y después, un incremento con 3 dS m^{-1} de CE donde se registró el contenido más alto en todos los flavonoides. En el manejo CP se observó un incremento en el contenido de miricetina y quercetina, y SP en rutina y morina, aunque no hubo diferencias estadísticas en ambos factores (Anexo 6.2).

6.5.2.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda

Se observó dentro de cada grupo de combinaciones de CE x CP y CE x SP, una disminución de los valores a 2 dS m^{-1} y después un incremento a 3 dS m^{-1} en miricetina, quercetina y rutina, similar al comportamiento en el factor CE de manera individual, lo que podría indicar el mayor efecto de la CE en su contenido, en comparación con la poda; para morina se observó un aumento de su contenido en el fruto al incrementar la CE en combinación con CP y, un comportamiento contrario en combinación con SP, aunque no se presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 6.5). Sin embargo, se registró el efecto positivo de la combinación CE (3 dS m^{-1}) x CP en miricetina, morina y rutina con valores más altos a los registrados de manera individual para estos mismos

niveles de CE y poda. Para quercetina, si bien de manera individual con una CE de 3 dS m⁻¹ se obtuvo el valor más alto (Anexo 6.2), en la combinación de 1 dS m⁻¹ x CP el contenido fue mayor.

Cuadro 6.5. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Flavonoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)			
CE x Poda	Miricetina	Quercetina	Morina	Rutina
1 x Con poda	6.70 a	6.84 a	29.32 a	24.01 a
2 x Con poda	6.22 a	4.87 a	29.74 a	22.12 a
3 x Con poda	7.94 a	5.40 a	37.99 a	28.44 a
1 x Sin poda	7.09 a	5.13 a	36.84 a	25.18 a
2 x Sin poda	6.31 a	5.08 a	33.53 a	23.87 a
3 x Sin poda	7.41 a	6.76 a	34.33 a	27.49 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.2.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)

En quercetina, el cultivo a 3 dS m⁻¹ de CE favoreció a la población decumbente y con 2 dS m⁻¹, a la erguida, pero sin diferencias estadísticas dentro y entre poblaciones. En los demás flavonoides, para ambas poblaciones, una CE de 3 dS m⁻¹ favoreció su contenido con diferencias estadísticas entre poblaciones (Figura 6.3).

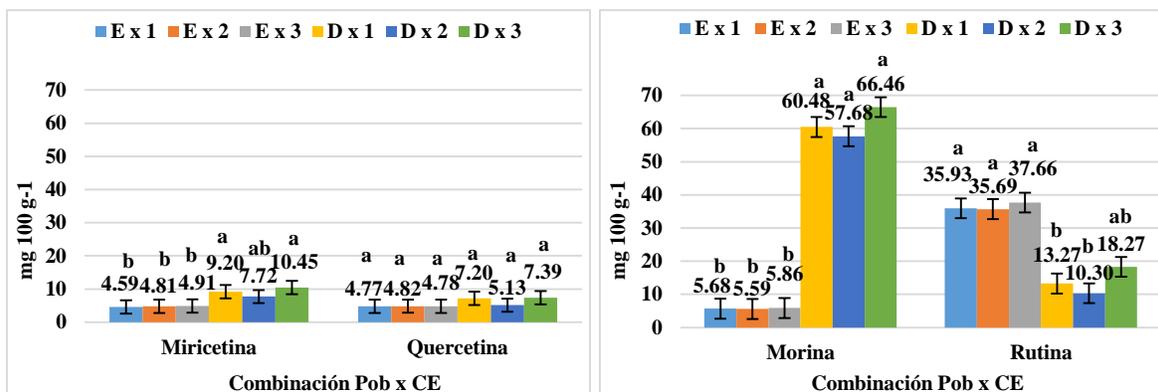


Figura 6.3. Efecto de la combinación población (Pob) x CE en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x 1: erguida x 1 dS m⁻¹; E x 2: erguida x 2 dS m⁻¹; E x 3: erguida x 3 dS m⁻¹; D x 1: decumbente x 1 dS m⁻¹; D x 2: decumbente x 2 dS m⁻¹; D x 3: decumbente x 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Letras diferentes en barras indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.2.3 Combinación población (Pob) x poda

Se presentaron diferencias estadísticas entre poblaciones en miricetina, morina y rutina. El manejo CP promovió en la población erguida el contenido de miricetina y morina, y el manejo SP, en la decumbente. En rutina, SP favoreció a ambas poblaciones. En quercetina, el manejo CP promovió su contenido, pero sin diferencias estadísticas dentro y entre poblaciones (Figura 6.4).

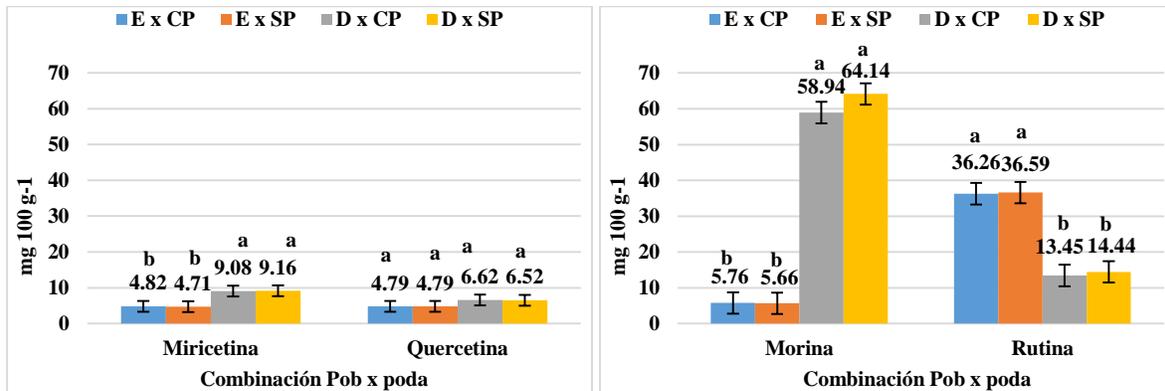


Figura 6.4. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*. E x CP: erguida x con poda; E x SP: erguida x sin poda; D x CP: decumbente x con poda; D x SP: decumbente x sin poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019. Letras diferentes en barras indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.3 Terpenoides

En población, se registraron diferencias estadísticas en el contenido de carnosol. La erguida tuvo un mayor contenido, superior en 85.71 % a la decumbente. En los demás terpenoides, la erguida registró mayor contenido en ácido ursólico y estigmasterol, y la decumbente en ácido oleanólico y β -sitosterol, pero sin diferencias estadísticas (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.6. Efecto de la población en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Terpenoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)				
	Carnosol	Ác. ursólico	Ác. oleanólico	Estigmasterol	β -sitosterol
Erguida	0.26 a	28.29 a	9.20 a	14.79 a	11.31 a
Decumbente	0.14 b	26.25 a	9.63 a	12.71 a	13.65 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Entre los diferentes niveles de CE y manejos de poda, tampoco se presentaron diferencias estadísticas, pero en CE se observó que altas CE disminuyen el contenido en carnosol, ácido

oleanólico y β – sitosterol, mientras que, para ácido ursólico y estigmasterol, el contenido aumenta a una conductividad de 2 dS m⁻¹ y después disminuye al incrementar la CE. Con el manejo CP, se favoreció el contenido de terpenoides (Anexo 6.3).

6.5.3.1 Combinación conductividad eléctrica (CE) x poda

Se observó que CE x CP promovió el contenido de terpenoides. La combinación 1 dS m⁻¹ x CP, favoreció los contenidos de carnosol, ácido oleanólico y β –sitosterol, disminuyendo sus valores al aumentar la CE. Con 2 dS m⁻¹ de CE x CP se favorecieron el contenido de ácido ursólico y estigmasterol, aumentando con respecto a 1 dS m⁻¹, sin embargo, disminuyeron a 3 dS m⁻¹ de CE, pero sin diferencias estadísticas (Cuadro 6.7). Además, se observó el efecto positivo de las combinaciones CE (1 y 2 dS m⁻¹) x CP en el contenido de estos metabolitos, al obtener valores más altos que CE y CP, de manera individual (Anexo 6.3).

Cuadro 6.7. Efecto de la combinación conductividad eléctrica (CE) x poda en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV CE x Poda	Terpenoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)				
	Carnosol	Ác. ursólico	Ác. oleanólico	Estigmasterol	β -sitosterol
1 x Con poda	0.29 a	25.15 a	9.76 a	12.89 a	16.38 a
2 x Con poda	0.21 a	34.26 a	9.63 a	15.40 a	11.71 a
3 x Con poda	0.15 a	24.05 a	8.98 a	13.14 a	11.60 a
1 x Sin poda	0.17 a	27.07 a	9.45 a	11.72 a	12.80 a
2 x Sin poda	0.18 a	25.74 a	9.53 a	14.65 a	7.25 a
3 x Sin poda	0.19 a	27.35 a	9.14 a	14.69 a	15.17 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.3.2 Combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE)

En la población erguida, el cultivo a 1 dS m⁻¹ favoreció el contenido de carnosol y β -sitosterol, y 2 dS m⁻¹ el de ácido ursólico, oleanólico y estigmasterol. En la decumbente, una CE de 1 dS m⁻¹ promovió el contenido de ácido oleanólico y β -sitosterol, con 2 dS m⁻¹ el de carnosol y ácido ursólico, y con 3 dS m⁻¹ el de estigmasterol, pero sin diferencias estadísticas entre combinaciones (Cuadro 6.8).

Cuadro 6.8. Efecto de la combinación población (Pob) x conductividad eléctrica (CE) en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Terpenoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)					
	Pob x CE	Carnosol	Ác. ursólico	Ác. oleanólico	Estigmasterol	β-sitosterol
Erguida x 1		0.32 a	27.49 a	8.62 a	12.28 a	12.56 a
Erguida x 2		0.24 a	32.36 a	9.60 a	17.21 a	9.10 a
Erguida x 3		0.21 a	25.00 a	9.37 a	14.87 a	12.27 a
Decumbente x 1		0.15 a	24.72 a	10.58 a	12.34 a	16.62 a
Decumbente x 2		0.15 a	27.64 a	9.56 a	12.84 a	9.85 a
Decumbente x 3		0.13 a	26.40 a	8.74 a	12.96 a	14.49 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.5.3.3 Combinación población (Pob) x poda

El manejo CP favoreció en la población erguida el contenido de estigmasterol y β-sitosterol, y en la decumbente el de ácido ursólico y oleanólico; además, el mismo manejo promovió en ambas poblaciones el contenido de carnosol. El manejo SP, favoreció el contenido de ácido ursólico y oleanólico en la erguida, y de estigmasterol y β-sitosterol en la decumbente, pero sin diferencias estadísticas (Cuadro 6.9).

Cuadro 6.9. Efecto de la combinación población (Pob) x poda en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Terpenoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)					
	Pob x Poda	Carnoso I	Ác. ursólico	Ác. oleanólico	Estigmastero I	β- sitosterol
Erguida x Con poda		0.29 a	28.03 a	8.67 a	16.51 a	13.29 a
Erguida x Sin poda		0.22 a	28.54 a	9.72 a	13.06 a	9.34 a
Decumbente x Con poda		0.15 a	27.61 a	10.24 a	11.11 a	13.17 a
Decumbente x Sin poda		0.14 a	24.90 a	9.02 a	14.31 a	14.14 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

6.6 DISCUSIÓN

Los compuestos fenólicos, entre los que se encuentran los ácidos fenólicos (no flavonoides) y flavonoides (de la Rosa *et al.*, 2019), son específicos de especies vegetales con variaciones en sus niveles de acuerdo al cultivar o variedad (Chandrasekara, 2019). En el cultivo de trigo (género *Triticum*), se reporta al ácido ferúlico como el principal y más abundante (Leváková y Lacko-

Bartošová, 2017), sin presencia de ácido gálico. En 200 cultivares de trigo, con diferentes historiales genéticos y orígenes geográficos, se reportó un contenido de ácido ferúlico de 28.4 – 65.1 mg 100 g⁻¹ de materia seca (Li *et al.*, 2008). En este trabajo se registraron diferencias en los niveles de éstos ácidos, donde el ácido gálico fue el de mayor contenido en ambas poblaciones (decumbente = 59.03 mg 100 g⁻¹; erguida = 47.01 mg 100 g⁻¹), seguido del siríngico y rosmarínico; el ácido ferúlico, también presente en *J. procumbens*, fue uno de los de menor contenido en los frutos de ambas poblaciones (decumbente = 1.30 mg 100 g⁻¹; erguida = 1.75 mg 100 g⁻¹). El ácido gálico presenta propiedades antimicrobianas, antifúngica, anticancerígena y antiinflamatoria (Rosas *et al.*, 2019), mientras que, el ácido siríngico muestra aplicaciones terapéuticas como en la prevención de la diabetes, cáncer o isquemia cerebral (Srinivasulu *et al.*, 2018), y el ácido rosmarínico como antiinflamatorio, neuroprotector, y antidepresivo (Ramos-Hryb *et al.*, 2017).

La presencia de flavonoides se describe en especies como *Vaccinium vitis-idaea* (quercetina = 6.3 – 64.3 mg 100 g⁻¹ de peso seco, y kaempferol = 3.4 – 4.6 mg 100 g⁻¹ de peso seco), *Fragaria ananassa* (quercetina = 21.9 – 50.7 mg 100 g⁻¹ de peso seco) y *Vaccinium myrtillus* (miricetina = 8.5 – 12.1 mg 100 g⁻¹ de peso seco, y quercetina = 7.3 – 28.9 mg 100 g⁻¹ de peso seco) (Liu *et al.*, 2020). En *J. procumbens*, se registró miricetina y quercetina, además, se registraron morina y rutina con valores más altos que los dos primeros. La población decumbente, presentó el mayor contenido en morina (61.54 mg 100 g⁻¹), mientras que, en la erguida se registró el valor más alto en rutina (36.43 mg 100 g⁻¹). La morina, una pentahidroxi flavona, es un fitoquímico importante con efectos antioxidantes, antivirales y como hepatoprotector (Baliga *et al.*, 2019), así también, se le reporta un efecto contra el estrés oxidativo en el sistema reproductivo en ratas macho, ante el tratamiento de linfoma (Olayinka *et al.*, 2019). La morina se reportó en fresa (*Fragaria ananassa*) con un contenido de 0.06 mg 100 g⁻¹ de peso seco (Ehala *et al.*, 2005), mientras que, en *Morus alba*, con excepción del fruto, de 0.5 – 1.2 mg 100 g⁻¹ (Chu *et al.*, 2006). La rutina, un glucósido de flavonol, tiene gran importancia en la industria farmacéutica al reducir los niveles de glucosa y, de la presión sistólica y diastólica en sangre, además, en el tratamiento de la hipertrofia miocárdica, de la colitis y peritonitis (Damin *et al.*, 2019). En seis cultivares de *Malus domestica*, se registró el contenido de rutina en la cutícula del fruto con un intervalo de 3.7 – 16.3 mg 100 g⁻¹ de peso seco (Pandey *et al.*, 2020). Considerando los valores reportados de estos metabolitos en las especies mencionadas, las poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente, son una fuente importante de rutina y morina, respectivamente.

Los terpenoides, son considerados metabolitos de plantas u hongos (Yamada *et al.*, 2012). Se encuentran presentes en un alto número de plantas con flores y, una vasta mayoría está restringido a un linaje dado o incluso a una sola especie (Pichersky y Raguso, 2016). En *Solanum lycopersicum* se reportan más de 21 metabolitos pertenecientes a la clase de carotenoides (Brandt *et al.*, 2003), un tipo de terpenos donde se encuentra el licopeno, que es el más abundante en el fruto de *S. lycopersicum* (Fanasca *et al.*, 2007). En la especie bajo estudio, *J. procumbens*, el terpenoide de mayor contenido en ambas poblaciones fue el ácido ursólico (erguida = 28.29 mg 100 g⁻¹, decumbente = 26.25 mg 100 g⁻¹) seguido de estigmasterol en la población erguida (14.79 mg 100 g⁻¹) y β – sitosterol en la decumbente (13.65 mg 100 g⁻¹). De los terpenoides, se han reportado diversas funciones como defensa contra patógenos y herbívoros, como antioxidantes o pigmentos (Pichersky y Raguso, 2016). El ácido ursólico, triterpeno pentacíclico, tiene efectos como antioxidante, antiinflamatorio, antibacterial, antifúngico o como protección contra hepatotoxicidad inducida por etanol (Baliga *et al.*, 2019). El estigmasterol presenta una actividad antiinflamatoria, anticancerígena, antiosteoartritis y como reductor de colesterol (Ashraf y Bhatti, 2021). Al β – sitosterol, se le reportan efectos hipocolesterolémico, antiinflamatorio, antibacterial y antifúngico (Chanioti *et al.*, 2021).

Además del factor genético, las condiciones de cultivo son otros de los factores que inciden en el contenido de compuestos fenólicos (Chandrasekara, 2019) y terpenoides (Wu y Kubota, 2008). En este trabajo, el efecto en el contenido de cada metabolito de los factores evaluados, de manera individual y combinada (CE y poda) fue diferente, registrándose un incremento o disminución en los valores dependiendo del nivel de CE, manejo de poda y su combinación. En el incremento de compuestos fenólicos, sobresalió la combinación de 2 dS m⁻¹ x CP en el contenido de los ácidos sinápico, ferúlico y gálico, con 1 dS m⁻¹ x CP en siríngico y *p* – cumárico y, con 3 dS m⁻¹ x CP en rosmarínico y vainillico. En flavonoides, la combinación de 3 dS m⁻¹ x CP sobresalió en miricetina, morina y rutina, mientras que, 1 dS m⁻¹ x CP en quercetina. Para terpenoides, la combinación 1 dS m⁻¹ x CP destacó en carnosol, ácido oleanólico y β –sitosterol, mientras que 2 dS m⁻¹ x CP lo hizo en ácido ursólico y estigmasterol. Este comportamiento, es similar al reportado en *Solanum lycopersicum*, donde el contenido de compuestos fenólicos se comportó de manera diferente ante el efecto del estrés por la salinidad generada con NaCl y temperatura, en donde el contenido de 175 metabolitos fue alterado por la salinidad, 865 por calor y 568 bajo la combinación de ambos; comportamiento atribuido al efecto de los tipos de estrés en

el sistema antioxidante de la planta, al inhibir o promover la actividad de enzimas como DAHPS, PAL, C4H, 4CL, C3H, y la expresión de genes como *SIF3H*, *SIFLS*, *SIF3GT*, y *SIF3RT* (Martínez *et al.*, 2016).

Cuando se analizaron los resultados obtenidos dentro de cada población, por el efecto del nivel de CE y manejo de poda, se observó que los valores de algunos metabolitos fueron inferiores a los registrados por los efectos de la CE y poda de manera individual o en su combinación; no obstante, este comportamiento se atribuye al genotipo de cada población, al presentar valores diferentes en sus contenidos de metabolitos, donde se estaría presentando una actividad de enzimas y expresión de genes de manera diferencial, ante cada tipo de estrés, por lo que es necesario determinar el comportamiento del sistema antioxidante de cada población; ya que, la actividad antioxidante es una herramienta importante para evaluar la respuesta de la planta ante algún tipo de estrés, como el reportado en *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*, donde a CE bajas (0 y 0.3 dS m⁻¹) y altas (9.6 dS m⁻¹) se registró una alta actividad de las enzimas antioxidantes Superóxido dismutasa (SOD) y Peroxidasa (POD) (Ding *et al.*, 2018).

Las condiciones de cultivo, como la salinidad generada por la cantidad de iones disponibles para las plantas (Ding *et al.*, 2018), determinada por la CE, influye en el contenido de metabolitos, por el estrés salino que experimenta la planta incidiendo en la calidad del fruto (Lam *et al.*, 2020), por lo que se considera uno de los tipos de estrés importantes en la producción agrícola (Martínez *et al.*, 2016). Por ejemplo, en la especie *Agastache rugosa*, se reportó que a menor CE (0.5, 1 y 2 dS m⁻¹) mayor concentración de ácido rosmarínico y, una disminución a una CE de 4 dS m⁻¹ o superior, efecto que se atribuye a una baja CE al presentarse una deficiencia de nitrógeno donde se da una alta expresión de genes involucrados en la ruta biosintética de ácido rosmarínico como fenilalanina amoníaco-liasa, 4 cumarato, CoA ligasa y cinamato 4 – hidroxilasa (Lam *et al.*, 2020). Un efecto contrario se reportó en *Portulaca oleracea*, donde a altos niveles de salinidad se registró un incremento en el contenido de flavonoides, al inducirse la maquinaria antioxidante celular y donde la superóxido dismutasa se ha planteado como una enzima importante en la tolerancia de la planta al estrés (Alam *et al.*, 2015). En la especie *Lycopersicon esculentum*, se describió también un incremento del licopeno al aumentar la CE, atribuido a una sobre-regulación de genes que regulan o codifican las enzimas involucradas en la biosíntesis de este metabolito, desencadenado por el estrés osmótico que experimenta la planta (Fanasca *et al.*, 2007).

Con respecto al efecto de la poda, en el contenido de ácidos fenólicos y flavonoides, se describió en *Vitis vinifera* una sobreexpresión de genes involucrados en su biosíntesis como *VvFLS1*, *VvF3'H*, *VvF3'5'H*, *VvANS* y *VvMYBA1* incidiendo en el incremento de su contenido en dicha especie (Liu *et al.*, 2021). Por el contrario, en *Lycopersicon esculentum*, se registró un efecto negativo en la síntesis de licopeno (Fanasca *et al.*, 2007). En *J. procumbens*, se observó que el efecto de la poda incidió de manera positiva y negativa en el contenido de algunos ácidos fenólicos y flavonoides, mientras que para terpenoides, la poda influyó en el aumento de su contenido. No obstante, la influencia de la poda en el incremento del contenido de metabolitos fue menor en comparación con la CE, similar a lo reportado en *Mangifera indica* L., en la evaluación de la poda y un regulador de crecimiento en el contenido de ácidos fenólicos, donde la poda influyó en menor medida sobre los valores de ácidos fenólicos (Srilatha *et al.*, 2016).

6.7 CONCLUSIONES

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva y el manejo de poda, afectaron de manera individual y combinada el contenido de los metabolitos evaluados en los frutos de las dos poblaciones de *J. procumbens*, erguida y decumbente.

La población erguida sobresalió en el contenido de ácido síringico y *p*-cumárico, en rutina y carnosol, y la decumbente en ácido gálico y rosmarínico, y en morina.

El efecto de la combinación de conductividad eléctrica y poda, en el contenido de metabolitos, fue mayor que de manera individual. Pero, la conductividad eléctrica tuvo un efecto mayor que la poda.

Se requiere determinar el comportamiento del sistema antioxidante de cada población, ante estos tipos de estrés y la expresión de genes vinculados a dicho sistema.

Por la variabilidad observada, se requiere un nivel de conductividad eléctrica y manejo de poda específicos en cada población, para el grupo de metabolitos de interés. Se promovió el contenido de terpenoides y ácidos fenólicos (excepto ácido rosmarínico, vainillico y gálico) con una conductividad eléctrica baja (1 dS m⁻¹) y media (2 dS m⁻¹), y manejo con poda, mientras que, conductividades eléctricas altas (3 dS m⁻¹) y el manejo con poda, en flavonoides, con excepción de quercetina.

Se requieren evaluar otros niveles de conductividad eléctrica, que permitan incrementar el contenido de metabolitos sin afectar el rendimiento de ambas poblaciones.

DISCUSIÓN GENERAL

La especie *Jaltomata procumbens*, semidomesticada y de uso alimenticio, se considera viable para su aprovechamiento por su valor nutricional, ser directamente comestible, no requerir procesos intermedios entre cultivo, cosecha y utilización, y ser nativa de México, criterios importantes para considerar un recurso vegetal con fines alimenticios (J. Sarukhán K., 2020, Comunicación Personal). Sin embargo, así como en otras especies silvestres y semidomesticadas, se le ha puesto poca atención en programas de investigación, careciendo de información que permita su aprovechamiento bajo condiciones de cultivo. Aspecto importante, ya que un conocimiento profundo de las especies, es un requisito para el manejo y conservación de la biodiversidad (Sarukhán *et al.*, 2017), considerada importante para incrementar la resiliencia de la seguridad alimentaria y de nutrientes, y de los ecosistemas agrícolas, que permita atender uno de los problemas actuales de la población, que es la malnutrición, generada por una reducida diversidad de alimentos disponibles (N'Danikou y Tchokponhoue, 2019).

La agricultura de ambiente controlado, permite llevar a cabo el estudio de nuevos recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. En este tipo de agricultura se emplean tecnologías como plásticos de invernadero, soluciones nutritivas y sustratos (Bethke y Lieth, 2016), que permiten estudiar el comportamiento de una especie bajo condiciones diferentes a su ambiente natural, al evaluar aspectos agronómicos, fenológicos, de absorción nutrimental, calidad de fruto o contenido de metabolitos secundarios, y determinar así, la viabilidad para su estudio y aprovechamiento, y los requerimientos para su producción bajo condiciones de cultivo.

Un requisito importante para el estudio y aprovechamiento de una especie con fines agrícolas, es que su semilla no presente altos niveles de latencia (Tuan *et al.*, 2019), para obtener una germinación temprana y desarrollo de plántula uniforme (Mirmazloum *et al.*, 2020). La semilla de *Jaltomata procumbens*, en sus dos poblaciones, erguida y decumbente, presentó latencia. Se aplicaron tratamientos de imbibición de la semilla en solución de KNO_3 al 0.1 y 0.2 %, con dos tiempos de imbibición (4 y 6 días) y agua destilada como control, permitiendo superar esta limitante, donde el KNO_3 con 4 días de imbibición, promovió la germinación en ambas poblaciones (erguida = 100 %, decumbente = 93.1 %), y aunque no hubo diferencias estadísticas con el control, se observó una mayor tendencia positiva con el KNO_3 , efecto que pudo deberse a la influencia de especies oxidadas de nitrógeno como NO_3 y NO , que junto con las condiciones de

obscuridad y baja temperatura a las que fueron sometidas las semillas, se pudo haber presentado un comportamiento similar al reportado en *Arabidopsis* (Footitt *et al.*, 2013), donde con la expresión de genes que sirven como sensores de temperatura (*DOG1*), luz (*PHYA*) y nitrato (*CIPK23*), reconocen las condiciones apropiadas para promover la expresión de *GA3ox1*, incrementando la tendencia positiva de la germinación. Esto permitió obtener la planta necesaria para los trabajos subsiguientes.

La evaluación de caracteres agronómicos permite determinar la viabilidad de una especie vegetal para su producción bajo condiciones de cultivo. Para dicha evaluación, se aplicaron tres niveles de conductividad eléctrica (CE) (1, 2 y 3 dS m⁻¹) y dos niveles de poda: con poda (CP) y sin poda (SP). Como resultado se obtuvo que las condiciones de invernadero e hidroponía promovieron el desarrollo en caracteres agronómicos como altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y peso de fruto (PF). La CE influyó en una menor AP y mayor DT con 3 dS m⁻¹, y mayor peso de fruto con 1 dS m⁻¹, efecto relacionado con el estrés hídrico que experimenta la planta ante los diferentes niveles de CE, que incide en el tamaño de las estructuras (Lam *et al.*, 2020) y a la correlación positiva que se presenta en la absorción de N y K (Feng *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2017), donde una mayor disponibilidad de N promueve un desarrollo vegetativo excesivo, el cual se acumula en tallos y hojas, y el K contribuye a la generación de estructuras más grandes, al vincularse en el crecimiento y expansión celular (Leghari *et al.*, 2016; Osakabe *et al.*, 2013; Azcón-Bieto y Talón, 2008). El manejo CP incidió en un mayor PF, al promover el balance entre crecimiento vegetativo y reproductivo, la remoción de sustancias de reserva a sitios de demanda, controlar la dirección y cantidad de crecimiento, y promoviendo una mejor calidad del fruto (Ponce-Valerio *et al.*, 2011).

La AP es importante, ya que un porte pequeño es requerido para el cultivo de una especie bajo condiciones de invernadero (Pilatti y Bouzo, 2000; Juárez-López *et al.*, 2012). Las dos poblaciones de *J. procumbens*, presentaron un buen comportamiento en esta característica (erguida = 177.6 cm, decumbente = 121.8 cm), al registrar alturas promedio menores o dentro del intervalo reportado para poblaciones nativas e híbridos comerciales de *S. lycopersicon* (Flores-González *et al.*, 2012; Juárez-López *et al.*, 2012), especie de cultivo de importancia económica. El DT, es un indicador del vigor de la planta, refleja la acumulación de compuestos de reserva que pueden ser trasladados a sitios de demanda (Preciado *et al.*, 2002). En ambas poblaciones, el DT registrado

(erguida = 15.5 mm, decumbente = 11.3 mm), fue similar a los reportados para *S. lycopersicon* (10.3 – 21.0 mm), (Velasco-Alvarado *et al.*, 2017; Flores-González *et al.*, 2012; Juárez-López *et al.*, 2012) lo que reflejó el vigor de la planta para abastecer a los sitios de demanda. El PF es una de las características que inciden en el rendimiento. En las poblaciones de *J. procumbens*, se obtuvo un PF promedio de 1.36 g por fruto para la población erguida y de 2.18 g para la decumbente, valores ubicados entre el intervalo reportado para *Vaccinium* sp. (1.25 – 2.01 g fruto⁻¹) (Zapata *et al.*, 2013), de importancia económica y características similares a las del fruto de *J. procumbens* en cuanto a tamaño, peso y forma de aprovechamiento en fresco, por lo que es posible obtener frutos de mejor calidad. Por lo anterior, ambas poblaciones se consideran con potencial para ser consideradas en estudios en ambientes controlados.

La evaluación de caracteres fenológicos, son importantes para determinar la viabilidad de una especie para su aprovechamiento bajo condiciones de cultivo, ya que cada especie desarrolla comportamientos únicos, sincronizados con variaciones de luz, temperatura y agua, bajo diferentes condiciones ambientales (Liang, 2019). La CE y el manejo CP influyeron en la fenología de ambas poblaciones. La población erguida presentó mayor precocidad en días a botón floral (erguida = 12.9 días, decumbente = 22.5 días), floración (erguida = 32.2 días, decumbente = 35.3 días), fructificación (erguida = 35.5 días, decumbente = 37.8 días) y cosecha (erguida = 65.9 días, decumbente = 70.7 días). Una CE de 2 dS m⁻¹ y manejo SP, promovieron la precocidad en los primeros tres caracteres, mientras que, con una CE de 1 dS m⁻¹ y manejo CP hubo una mayor precocidad para la cosecha (madurez fisiológica). Respuesta atribuida al genotipo para el caso de la CE, ya que se podría estar presentando una tolerancia al estrés por salinidad a CE altas, retrasando la cosecha, debido a una activación en cascada de modulaciones génicas (Muchate *et al.*, 2016) y donde el ácido abscísico y etileno juegan un papel importante (Jing *et al.*, 2018). En la especie *Capsicum annuum* L., se describió que al incrementar la salinidad, se incrementa la precocidad en la cosecha (Amalfitano *et al.*, 2017), en donde debido al estrés ocasionado por un bajo potencial hídrico, se estimula la producción de etileno, dando como resultado que se adelante el inicio de la maduración (Tao *et al.*, 2015). El efecto de la poda se atribuye a la etapa intermedia de domesticación en la que se encuentran las poblaciones, a la población decumbente el manejo CP le favoreció en días a floración, fructificación y cosecha, similar a lo reportado en *S. lycopersicon* L. (Mbonihankuye *et al.*, 2013), mientras que en la erguida sólo le favoreció para días a cosecha.

En la calidad de fruto, definida como la suma de propiedades individuales de un producto que cumplen con los requerimientos del consumidor (Wiesler, 2012), se consideran diferentes atributos dependiendo del producto y mercado de destino (Bolaños-Alcántara *et al.*, 2019; Islam *et al.*, 2019; Gilbert *et al.*, 2014). En los frutos de ambas poblaciones, se han realizado algunos estudios (Mendoza-Rodríguez *et al.*, 2016; Mera-Ovando *et al.*, 2003; Williams, 1985). Sin embargo, debido a la poca atención puesta sobre esta especie, aún son escasos, sobre todo cuando se someten a condiciones diferentes a su ambiente natural, como son las condiciones de cultivo. En este trabajo, la CE y poda de la planta, bajo condiciones de cultivo en invernadero e hidroponía, incidieron en el tamaño y peso de fruto (PF), porcentaje de sólidos solubles totales (SST) y relación sólidos solubles totales / acidez titulable (SST / AT). La población decumbente presentó un mayor tamaño de fruto (diámetro ecuatorial = 16.5 mm, diámetro polar = 12.5 mm), condición relacionada a la diferencia en el número de frutos presentes entre poblaciones, ya que la proporción de fotoasimilados almacenados en estas estructuras, que inciden en el tamaño de fruto, es mayor ante la menor presencia de frutos (Thomas, 2017; Pérez-Labrada *et al.*, 2016). En la población erguida y decumbente se reportan 5.4 y 3.7 frutos por racimo, respectivamente (Flores-Sánchez *et al.*, 2021).

Se observó que altas CE disminuyen el tamaño y PF en ambas poblaciones, le favorecieron en estas características 1 dS m⁻¹ a la erguida y 2 dS m⁻¹ a la decumbente. Este fenómeno es atribuido a un efecto osmótico al disminuir el potencial hídrico de la planta al aumentar la CE, reduciendo el flujo de agua y la tasa de expansión del fruto (Salas-Pérez *et al.*, 2016), comportamiento similar al reportado en genotipos silvestres de *S. lycopersicon* (Martínez-Damián *et al.*, 2017), pero contrario al observado en *Physalis peruviana* (Colli-Cortés *et al.*, 2020) y en un híbrido comercial tipo bola de *S. lycopersicon* (Martínez-Damián *et al.*, 2017), lo que indica que el efecto de la CE depende del genotipo, donde a CE altas los genotipos presentan problemas de tolerancia a la salinidad. El porcentaje de SST incrementó con 2 dS m⁻¹ (erguida = 9.5 % SST, decumbente = 10.7 % SST), y disminuyó a 3 dS m⁻¹, lo que puede responder el efecto osmótico mencionado, reduciendo el flujo de materia seca al fruto y cuyo contenido, se ve reflejado en el porcentaje de SST (Beckles, 2012), por lo que con 2 dS m⁻¹ de CE se estaría presentando la concentración de N adecuada para mantener una tasa fotosintética (Leghari *et al.*, 2016) que permite la producción de fotosintatos que son trasladados a los frutos y en donde la temperatura juega un papel importante al contribuir en su importación, cuando se presentan altas temperaturas (Villette *et al.*, 2020).

Durante el desarrollo del cultivo, se registraron temperaturas de hasta 38.5 °C. La relación SST / AT es importante, porque determina la palatabilidad del fruto (Batista-Silva *et al.*, 2018). Se registró que a mayor CE mayores valores de dicha relación, condición generada por altos valores de SST y bajos de AT, en donde el K juega un papel importante en la neutralización eléctrica de los ácidos orgánicos (Villette *et al.*, 2020). Altos valores de la relación, indican mayor palatabilidad del fruto. La población decumbente presentó un valor de 56.25 y la erguida de 20.89, por lo que el fruto de la población decumbente tendría una mayor aceptabilidad; sin embargo, una disponibilidad diversa de frutos en cuanto a sabor y color, puede atender diferentes mercados con base en las preferencias del consumidor (Campbell *et al.*, 2021). El manejo CP influyó en estas tres características, al promover la translocación de sustancias de reserva al fruto, regulando el crecimiento vegetativo y reproductivo, y mejorando su calidad. La calidad de fruto óptima se obtiene con el cultivo a 1 y 2 dS m⁻¹ de CE, para la población erguida y decumbente, respectivamente.

Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos que se producen en la naturaleza, tienen diversas funciones importantes en el ser humano, por lo que los consumidores demandan productos con alto contenido de dichos compuestos, promotores de la salud (Botella *et al.*, 2020). El contenido de metabolitos depende del genotipo, con variaciones en sus niveles de acuerdo al cultivar o variedad, y de factores como clima y prácticas agrícolas (Liu *et al.*, 2021; Chandrasekara, 2019; Leváková y Lacko-Bartošová, 2017; Pichersky y Raguso, 2016). Dentro de las prácticas agrícolas, se describe el efecto de la salinidad y de la poda, ante los cuales se genera un estrés en la planta que promueve la actividad enzimática y expresión de genes de la maquinaria antioxidante, lo que incide en la síntesis de metabolitos (Liu *et al.*, 2021; Lam *et al.*, 2020; Ding *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2016). En ambas poblaciones de *J. procumbens*, se registraron siete ácidos fenólicos (sinápico, siríngico, ferúlico, rosmarínico, vainillico, gálico, *p*-cumárico), cuatro flavonoides (miricetina, rutina, morina y quercetina) y cinco terpenoides (carnosol, estigmasterol, β -sitosterol, ácido ursólico y ácido oleanólico). La CE de la solución nutritiva y el manejo de poda, de manera combinada e individual, afectaron el contenido de metabolitos, pero el efecto de la combinación fue mayor que de manera individual, en donde, la conductividad eléctrica tuvo un mayor efecto que la poda. En ácidos fenólicos y terpenoides (excepto ácido rosmarínico, vainillico y gálico), con una conductividad eléctrica baja y media, y manejo CP, se promovió su contenido, y en flavonoides con excepción de quercetina, con CE altas y el manejo CP. La población erguida

presentó mayor contenido en ácido siríngico (33.4 mg 100 g⁻¹ de peso seco), rutina (36.4 mg 100 g⁻¹ de peso seco) y carnosol (0.3 mg 100 g⁻¹ de peso seco); la decumbente, en ácido gálico (59.0 mg 100 g⁻¹ de peso seco), rosmarínico (28.3 mg 100 g⁻¹ de peso seco) y morina (61.5 mg 100 g⁻¹ de peso seco). Considerando estos resultados, de acuerdo al grupo de metabolitos de interés, se requiere un nivel de CE y manejo de poda específicos para cada población.

La dinámica de absorción de nutrientes varía de acuerdo al genotipo (Gandica y Peña, 2015), información importante para generar curvas de absorción nutrimental por etapa fenológica e identificar momentos de máxima absorción, que permitan el diseño de planes de fertilización (Castro-Villarreal y Villarreal-Núñez, 2020). Para determinar las curvas de absorción en ambas poblaciones, se utilizaron tres niveles de conductividad eléctrica (CE) (1, 2 y 3 dS m⁻¹) y manejo con poda. Además, se determinó la acumulación de materia seca total. Se presentó una variabilidad entre poblaciones y etapas fenológicas en la absorción de macro y micronutrientes. La población erguida absorbió más N, P y Mo, y la decumbente Ca, B, Fe y Zn. Para las etapas vegetativa, floración, fructificación y cosecha, la decumbente tuvo un orden de absorción de K>N>Ca>Mg>P, la erguida presentó el mismo orden de absorción con excepción de la cosecha, donde el orden fue K>N>Ca>P>Mg. Para micronutrientes, en ambas poblaciones, el orden fue para etapa vegetativa y floración, Fe>Mn>B>Zn>Mo y Fe>Mn>Zn>B>Mo, respectivamente; en fructificación fue erguida = Fe>Mn>Zn>B>Mo, decumbente = Fe>Mn>B>Zn>Mo; en cosecha fue erguida = Fe>Mn>B>Zn>Mo, decumbente = Mn>Fe>B>Zn>Mo. La acumulación de materia seca total, en ambas poblaciones, presentó la misma dinámica con el mayor incremento de materia seca a partir de los 45 días después del trasplante. Su distribución en hoja (H), tallo (T), raíz (R) y estructuras reproductivas (ER) fue: etapa vegetativa (erguida y decumbente = H>R>T>ER), floración (erguida = H>R>T>ER, decumbente = R>H>T>ER), fructificación (erguida = R>T>H>ER, decumbente = R>H>ER>T) y cosecha (erguida = ER>R>T>H, decumbente = R>ER>H>T). En ambas poblaciones, con una conductividad eléctrica de 2 y 3 dS m⁻¹, se logra una absorción nutrimental y biomasa óptimas, en condiciones de invernadero e hidroponía. No obstante, debido a la variabilidad observada, se requieren planes de fertilización específicos para cada población.

CONCLUSIONES GENERALES

Las dos poblaciones de *J. procumbens* tienen el potencial para ser consideradas en su estudio en ambientes controlados y para su aprovechamiento con fines alimenticios, por las características de interés agronómico, calidad de fruto y de metabolitos secundarios.

Es posible promover la germinación de su semilla y obtener plántula de manera rápida y uniforme con 4 días de imbibición en solución de KNO_3 .

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva y el manejo de poda, en condiciones de invernadero e hidroponía, influyeron en los diferentes caracteres de interés agronómico, fenológico, de calidad de fruto, absorción nutrimental, acumulación de materia seca y metabolitos secundarios.

Se promovió el desarrollo de caracteres de interés agronómico como altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto, en donde una conductividad eléctrica de 3 dS m^{-1} influyó en los dos primeros y, 1 dS m^{-1} para fruto. El efecto de la poda incidió sobre un mayor peso de fruto, y facilitó el manejo del cultivo para su amarre.

En las dos poblaciones, erguida y decumbente, se presentó un comportamiento sobresaliente en caracteres fenológicos, tomando como referencia a *S. lycopersicon*, cultivo de importancia económica. La población erguida fue más precoz que la decumbente. Una CE de 2 dS m^{-1} y manejo sin poda promovió la precocidad en días a botón floral, floración y fructificación, y en días a cosecha, 1 dS m^{-1} .

Se promovieron características de calidad de fruto. La población decumbente presentó mayor tamaño y peso de fruto, porcentaje de sólidos solubles totales y relación de sólidos solubles totales / acidez titulable. Con el cultivo a 1 y 2 dS m^{-1} de conductividad eléctrica, para la población erguida y decumbente, respectivamente, fue posible obtener una calidad de fruto óptima.

Las dos poblaciones son fuente importante de metabolitos secundarios: ácidos fenólicos, flavonoides y terpenoides. La población erguida sobresalió en el contenido de rutina, ácido siríngico y carnosol, mientras que la decumbente en morina, ácido gálico y ácido rosmarínico. La conductividad eléctrica y el manejo de poda, de manera combinada e individual, afectaron el contenido de metabolitos. La influencia de la combinación fue mayor que cuando se presentan los

factores de manera individual, en donde, la conductividad eléctrica tuvo un mayor efecto que la poda. Con una conductividad eléctrica baja y media, y manejo CP, se promovió el contenido de flavonoides y terpenoides (excepto ácido rosmarínico, vainillico y gálico), y en flavonoides con excepción de quercetina, con una conductividad eléctrica alta y manejo con poda.

En la absorción de macro y micronutrientes, se presentó una variabilidad entre poblaciones y etapas fenológicas, siendo la población erguida la que absorbió más N, P y Mo, y la decumbente Ca, B, Fe y Zn. En ambas poblaciones, con una conductividad eléctrica de 2 y 3 dS m⁻¹, se logra una absorción nutrimental y biomasa óptimas, en condiciones de invernadero e hidroponía. No obstante, debido a la variabilidad observada, se requieren planes de fertilización específicos para cada población.

Ambas poblaciones presentaron altos niveles de Mo en tejido vegetal, superando el intervalo en el que se reportan alteraciones anatómicas en hoja, raíz y tallo, no observando estos efectos en el desarrollo de la planta. Por otro lado, para otros elementos, entre los diferentes niveles de conductividad eléctrica, no se presentaron diferencias estadísticas en su absorción y en otros, incluso disminuyó, lo que podría indicar la presencia de mecanismos de eliminación o tolerancia a las sales, por lo que es importante realizar estudios para determinar los procesos que se estarían presentando en las poblaciones para su tolerancia y los genes vinculados.

Es necesario determinar la influencia de factores como luz y temperatura en la germinación de la semilla de *J. procumbens* y, la expresión de genes vinculados a este proceso. Así también, en la síntesis de metabolitos secundarios (factores reconocidos importantes, no considerados en este trabajo).

Es importante llevar a cabo el desarrollo de marcadores moleculares de caracteres de interés, para dirigir el mejoramiento de ambas poblaciones mediante la selección asistida por marcadores, lo que podría reducir tiempos y costos.

Debido a la amplia distribución de *J. procumbens*, se recomienda evaluar poblaciones erectas y decumbentes de diferentes procedencias e identificar germoplasma con características sobresalientes, para su aprovechamiento directo o que sirvan como punto de partida para el mejoramiento genético de la especie.

Se recomienda llevar a cabo pruebas sensoriales, para determinar las características de fruto de mayor aceptación por el consumidor, de acuerdo a la edad, sexo o cultura.

LITERATURA CITADA

- Abd-Alkarim, E., Bayoumi, Y., Metwally, E. y Rakha, M. (2017). Silicon supplements affect yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in net houses. *African Journal of Agricultural Research*, 12(31):2518-2523. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12484>
- Aguiñiga-Sánchez, I., Cadena-Íñiguez, J., Santiago-Osorio, E., Gómez-García, G., Mendoza-Núñez, V. M., Rosado-Pérez, J., Ruíz-Ramos, M., Cisneros-Solano, V. M., Ledesma-Martínez, E., Delgado-Bordonave, A. de J. y Soto-Hernández, R. M. (2017). Chemical analyses and in vitro and in vivo toxicity of fruit methanol extract of *Sechium edule* var. *nigrum spinosum*. *Pharmaceutical biology*, 55(1): 1638–1645. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1316746>
- Alam, Md. A., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Hamid, A. A., Aslani, F. y Alam, M. Z. (2015). Effects of salinity and salinity-induced augmented bioactive compounds in purslane (*Portulaca oleracea* L.) for possible economical use. *Food Chemistry*, 169:439-447. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.019>
- Albino-García, C., Cervantes, H., López, M., Ríos-Casanova, L., y Lira R. (2011). Patrones de diversidad y aspectos etnobotánicos de las plantas arvenses del valle de Tehuacán-Cuicatlán: el caso de San Rafael, municipio de Coxcatlán, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 1005–1019. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n3/v82n3a25.pdf>
- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., y Peiter, E. (2020). Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11(300). <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>
- Alexopoulos, A. A., Marando, E., Assimakopoulou, A., Vidalis, N., Petropoulos, S. A. y Karapanos, I. C. (2021). Effect of Nutrient Solution pH on the Growth, Yield and Quality of *Taraxacum officinale* and *Reichardia picroides* in a Floating Hydroponic System. *Agronomy*, 11(118):1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061118h>
- Alseekh, S., Bermudez, L., de Haro, L. A., Fernie, A. R., y Carrari, F. (2018). Crop metabolomics: From diagnostics to assisted breeding. *Metabolomics*, 14(148):1-13. <https://doi.org/10.1007/s11306-018-1446-5>
- Altieri, M. A. (2016). Los quelites: Usos, manejo y efectos ecológicos en la agricultura campesina. En: T. Gianella, y T. Pinzás (Eds.), *Leguminosas y plantas silvestres en la alimentación y la agricultura*, (n. 2, v. 32, pp. 28-31). Leisa, Revista de Agroecología. <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-32-numero-2>
- Alvarado-Chávez, J. A., Gómez-González, A., Lara-Herrera, A., Díaz-Pérez, J. C. y García-Herrera, E. J. (2020). Yield and quality of strawberry fruit grown in a greenhouse in a pyramidal hydroponic system. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(8):1737-1748. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/2460/3632>
- Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A., Caruso, G. (2017). Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality

- of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*, 44(2): 91-98. <https://doi.org/10.17221/172/2015-HORTSCI>
- Anjum, N.A., Singh, H. P., Khan, M. I. R., Masood, A., Per, T. S., Negi, A., Batish, D. R., Khan, N. A., Duarte, A. C., Pereira, E., y Ahmad, I. (2015). Too much is bad—an appraisal of phytotoxicity of elevated plant-beneficial heavy metal ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3361–3382. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3849-9>
- Antúnez-Ocampo, O. M., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G. y Solís-Martínez, M. (2014). Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48:805-817. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n8/v48n8a4.pdf>
- Anulika, N. P., Ignatius, E. O., Raymond, E. S., Osasere, O-I. y Abiola, A. H. (2016). The chemistry of natural product: plant secondary metabolites. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 4(8):1-8. https://www.researchgate.net/profile/Paul-Nwokeji/publication/307858399_The_Chemistry_Of_Natural_Product_Plant_Secondary_Metabolites/links/57cf425c08ae057987ac0bac/The-Chemistry-Of-Natural-Product-Plant-Secondary-Metabolites.pdf
- Arana, M.V., Burgin, M.J., de Miguel, L.C. y Sánchez, R.A. (2007). The very-low-fluence and high-irradiance responses of the phytochromes have antagonistic effects on germination, mannan-degrading activities, and *DfGA3ox* transcript levels in *Datura ferox* seeds. *J. Exp. Bot.*, 58, 3997–4004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm256>.
- Arc, E., Galland, M., Godin, B., Cueff, G. y Rajjou, L. (2013a). Nitric oxide implication in the control of seed dormancy and germination. *Front. Plant Sci.*, 4, 346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00346>.
- Arc, E., Sechet, J., Corbineau, F., Rajjou, L. y Marion-Poll, A. (2013b). ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Front. Plant Sci.*, 4, 63. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00063>.
- Ashraf, H. R. y Bhatti, N. (2021). Stigmasterol. In Mushtaq, M. y Anwar, F. (Eds.), *A Centum of Valuable Plant Bioactives* (pp. 213–232). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822923-1.00019-4>.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2° ed.). McGraw-Hill – Interamericana.
- Bagale, K. V. (2018). The effect of electrical conductivity on growth and development of strawberries grown in deep tank hydroponic systems, a physiological study. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SPI, 1939–1944. <http://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue1S/partAC/SP-7-1-594.pdf>
- Baliga, M. S., Shivashankara, A. R., Venkatesh, S., Bhat, H. P., Palatty, P. L., Bhandari, G. y Rao, S. (2019). Phytochemicals in the prevention of ethanol-induced hepatotoxicity: A revisit. In Watson, R. R. y Preedy, V. R. (Eds.), *Dietary Interventions in Liver Disease* (pp. 79-89). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814466-4.00007-0>

- Barcellos, C. F., Prieto, M. H. E., Henriques da Silva, D. J., do Carmo, M. C., y Barbosa, J. G. (2018). Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. *Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia*, 48(4): 340-349.
- Baskin, C. C., y Baskin, J. M. (2014). Chapter 3: Types of seeds and kinds of seed dormancy. In C. C. Baskin, y J. M. Baskin (Eds), *Seeds, Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination.*, Academic Press., 2nd ed., 37-77. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416677-6.00003-2>.
- Batista-Silva, W., Nascimento, V. L., Medeiros, D. B., Nunes-Nesi, A., Ribeiro, D. M., Zsögön, A. y Araújo, W. L. (2018). Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: Correlation or causation? *Frontiers in Plant Science*, 9(1689). <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01689>
- Beckles D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63:129–140. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>
- Bethke, A. y Lieth, H. (2016). Controlled Environment Agriculture. *University of California*, 20(1): 1-5. https://ucnfanews.ucanr.edu/newsletters/Download_UCNFA_News_as_PDF66746.pdf
- Bian, L., Yang, L., Wang, J. y Shen, H. (2013). Effects of KNO₃ pretreatment and temperature on seed germination of *Sorbus pohuashanensis*. *Journal of Forestry Research*, 24(2):309–316. <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0354-9>
- Bolaños-Alcántara, M. N., Pineda-Pineda, J., Castro-Brindis, R., Vargas-Hernández, M. y Avitia-García, E. (2019). Nitrate/ammonium ratio and electrical conductivity in blueberry quality. *Acta Horticulturae*, 1265: 233 – 240. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.33>
- Botella, M. A., Hernández, V., Mestre, T., Hellín, P., García-Legaz, M. F., Rivero, R. S., Martínez, V., Fenoll, J. y Flores, P. (2020). Bioactive compounds of tomato fruit in response to salinity, heat and their combination. *Agriculture*, 11(534):1-12. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060534>
- Both, A. J., Benjamin, L., Franklin, J., Holroyd, G., Incoll, L. D., Lefsrud, M. G. y Pitkin, G. (2015). Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. *Plant Methods*, 11:43. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0083-5>
- Brandt, S., Lugasi, A., Barna, É., Hóvári, J., Pék, Z. y Helyes, L. (2003). Effects of the growing methods and conditions on the lycopene content of tomato fruits. *Acta Alimentaria*, 32 (3): 269–278. <https://doi.org/10.1556/AAlim.32.2003.3.6>
- Bustamante, N., Acuña, C. J. F. y Valera, D.L. (2016). Effect of the height of the greenhouse on the plant - climate relationship as a development parameter in mint (*Mentha Spicata*) crops in Colombia. *Ingeniería e Investigación*. 36 (2):6-13. <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v36n2.52775>

- Bustomi, R. R. A., Senge, M., Suhandy, D., y Tusi, A. (2014). The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum Lycopersicum*) under the Hydroponic System. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology*, 2(1), 7–12. <https://doi.org/10.18005/JAEB0201002>
- Campbell, J., Sarkhosh, A., Habibi, F., Gajjar, P., Ismail, A., Tsoleva, V., El-Sharkawy, I. (2021). Evaluation of biochemical juice attributes and color-related traits in muscadine grape population. *Foods*, 10(1101). <https://doi.org/10.3390/foods10051101>
- Čanak, P., Jocković, M., Čirič, M., Mirosavljevič, M. y Miklič, V. (2014). Effect of seed priming with various concentrations of KNO₃ on sunflower seed germination parameters in in vitro drought conditions. *Research on Crops*, 15(1):154–158. <https://doi.org/10.5958/j.2348-7542.15.1.021>
- Carballo, C. A., Noguez, H. R., y Zárata, C. J. L. (2013). Colecta dirigida y caracterización morfológica y bromatológica del romerito (*Suaeda* spp.) en México. En: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (Editores), *Resúmenes ejecutivos: ejercicio fiscal 2010*, (pp.171–172). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232379/Resumenes_ejecutivos_ejercicio_fiscal_2010.pdf
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., y Zárata, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 61:31-47. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1537>
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Caballero, J., Cortés, L., Dávila, P., Lira, R., y Rodríguez, I. (2001). Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 55(1): 129-166. <https://doi.org/10.1007/BF02864551>
- Castro-Villarreal, J. A., y Villarreal-Núñez, J. E. (2020). Absorción de nutrientes en tomate industrial IDIAP – T7 en suelos de la región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, 30:27 – 44. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/125>
- Casuriaga, O. C., Morel, L. E., Arguello, A. P., Servín, N. A. I., Da Silva, O. M. O., Pereira, W. L., López, Á. D. F., Leguizamón, A. y de Franco, R. P. (2020). Influence of distance between plants and pruning of axillary buds on morphological and productive characteristics of tomato plants. *African Journal of Agricultural Research*, 16(8):1088-1092. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15035>
- Chandrasekara, A. (2019). Phenolic Acids. In Melton, L., Shahidi, F. y Varelis, P (Eds.). *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 535-545). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22395-0>
- Chanoti, S., Katsouli, M. y Tzia, C. (2021). β-Sitosterol as a functional bioactive. In Mushtaq, M. y Anwar, F. (Eds.), *A Centum of Valuable Plant Bioactives* (pp. 193–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822923-1.00014-5> Get rights and content

- Chiquito-Contreras, R. G., Reyes-Pérez, J. J., Troyo-Diéguéz, E., Rueda-Puente, E. O., Torres-Rodríguez, J. A. y Murillo-Amador, B. (2018). Growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) treated with vermicompost humate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 20: 4187- 4197. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9nspe20/2007-0934-remexca-9-spe20-4187.pdf>
- Chmielewski, F.M. (2013). Phenology in agriculture and horticulture. In Shwartz, M. D. (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science* (pp. 539-561). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_29
- Chu, Q., Lin, M., Tian, X. y Ye, J. (2006). Study on capillary electrophoresis–amperometric detection profiles of different parts of *Morus alba* L. *Journal of Chromatography A*, 1116: 286–290. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.03.118>
- Coe, L. A. (1997). The taxonomy of *Jaltomata tlaxcala* and *Jaltomata procumbens* (Solanaceae): Morphological distinctions and infertility [Master thesis, Central Connecticut State University]. Central Connecticut State University Repository. https://cscu-ccsu-primo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?vid=CCSU_V1&search_scope=CCSU&tab=default_tab&docid=01CSCU_NETWORK_ALMA7179792680003451&lang=en_US&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=any,contains,The%20taxonomy%20of%20Jaltomata%20tlaxcala%20and%20Jaltomata%20procumbens&offset=0
- Colli-Cortés, P. M., Sandoval-Villa, M., Rodríguez-Mendoza, N. y Guerra-Ramírez, D. (2020). The electrical conductivity of the nutritive solution modifies yield and quality of fruits of *Physalis peruviana*. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2108>
- Connorton, J. M., Balk, J., y Rodríguez-Celma, J. (2017). Iron homeostasis in plants – a brief overview. *Metallomics*, 9: 813 – 823. <https://doi.org/10.1039/c7mt00136c>
- Córdoba, H. A., Gómez, S. V., y Núñez, C. E. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1): 113-125. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7348>
- Cornea-Cipcigan, M., Pamfil, D., Radu, S. C. y Mărgăoan, R. (2020). Gibberellic acid can improve seed germination and ornamental quality of selected cyclamen species grown under short and long days. *Agronomy*, 10(516): 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040516>
- Corpas, F.J. (2018). Calcium in plant peroxisomes. What for? *Plant Signal. Behav.*, 13, e1449545. <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1449545>.
- Dalazen, J.R., Gontijo, I., Paye, H. de S., Valani, G.P., Tomaz, M.A. y Partelli, F.L. (2020). Macronutrient dynamics in leaves and bunches of black pepper. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55, e01780: 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01780>.
- Damin, F., Meinhart, A., Caldeirão, L., Filho, M., da silva, L., Constant, L., Teixeira-Filho., J. Wagner, R. y Godoy, H. (2019). Determination of rutin in fruits and vegetables in natura.

- Journal of Food and Nutrition Research*, 58(4): 328–338. https://www.researchgate.net/publication/343558334_Determination_of_rutin_in_fruits_and_vegetables_in_natura
- Dantas, I.B., Mendes, G.R., De Resende, V.P.E.V. y Moreira, D.C.M.L. (2010). Osmotic priming methodologies in relation to the physiological performance of rangpur lime seeds (*Citrus limonia* Osbeck). *Rev. Bras. Sementes*, 32, 141–151. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300016>.
- D'Arcy, W. G., Mione, T., y Davis, IV T. (1992). *Jaltomata grandiflora* (Solanaceae): A rare Mexican species. *Novon*, 2(3): 190-192. <https://doi.org/10.2307/3391545>
- Davis, T. y Bye, R. A, Jr. (1981). Ethnobotany and progressive domestication of *Jaltomata* (Solanaceae) in Mexico and Central America. *Economic Botany*, 36(2), 225–241. <https://www.jstor.org/stable/4254378>
- De Almeida, T.T., da Rosa, S.D.V.F., Oliveira, J.A., Oliveira, A.S., da Silva, A.A. y Pereira, D.S. (2014). Influence of tannin on sorghum seed germination. *Afr. J. Food Sci. Technol.*, 5, 138–142. <https://doi.org/10.14303/ajfst.2014.053>.
- De la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J. y Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic Compounds. In Yahia, E. M. (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 253-271). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>
- De Libório, B.C., Verzignassi, R.J., Fernandes, D.C., Valle, B.C. do, Lima, D.N. y Monteiro, C.L. (2017). Potassium nitrate on overcoming dormancy in *Brachiaria humidicola* ‘BRS Tupi’ seeds. *Ciência Rural*, 47, 1–8. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160500>.
- Dickinson, P.J, Kumar, M., Martinho, C., Yoo, S. J., Lan, H., Artavanis, G., Charoensawan, V., Schöttler, M. A., Bock, R., Jaeger, K. E. y Wigge, P. A. (2018). Chloroplast signaling gates thermotolerance in Arabidopsis. *Cell Reports*, 22:1657–1665. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2018.01.054>
- Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., y Yu, J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system. *PLoS ONE*, 13(8), Article e0202090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202090>
- Dorai, M., Papadopoulos, A., y Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie, EDp Sciences*, 21(4), 367–383. <https://doi.org/10.1051/agro:2001130>
- Dotto, L. y Silva, V. N. (2017). Beet seed priming with growth regulators. *Semina: Ciências Agrárias*. 38(4): 1785–1798. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1785>

- Duermeyer, L., Khodapanahi, E., Yan, D., Krapp, A., Rothstein, S.J. y Nambara, E. (2018). Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. *Seed Science Research*, 28:150–157. <https://doi.org/10.1017/S096025851800020X>
- Ehala, S., Vaher, M. y Kaljurand, M. (2005). Characterization of phenolic profiles of northern european berries by capillary electrophoresis and determination of their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 6484-6490. <https://doi.org/10.1021/jf050397w>
- Falchi, R., Bonghi, C., Drincovich, M. F., Famiani, F., Lara, M. V., Walker, R. P. y Vizzotto, G. (2020). Sugar metabolism in stone fruit: Source-sink relationships and environmental and agronomical effects. *Frontiers in Plant Science*, 11(573982): <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.573982>
- Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J. G. y Walker, R. P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents – a review. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(2): 97-128. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.01.004>
- Fanasca, S., Martino, A., Heuvelink, E. y Stanghellini, C. (2007). Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(3): 488-494. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2007.11512263>
- Fan, X., Naz, M., Fan, X., Xuan, W., Miller, A. J., y Xu, G. (2017). Plant nitrate transporters: From gene function to application. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2463 – 2475. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx011>
- Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C., y Rabhi, M. (2016). Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38:145. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2165-z>
- Feng, H., Fan, X., Miller, A. J., y Xu, G. (2020). Plant nitrogen uptake and assimilation: Regulation of cellular pH homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 71(15), 4380–4392. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa150>
- Flinn, R. R. (2016). Reproductive biology of *Jaltomata procumbens* (Solanaceae). [Thesis, Central Connecticut State University]. New Britain, Connecticut. <https://web.ccsu.edu/faculty/mione/pdf/Rebecca.R.Flinn.Thesis.pdf>
- Flores-González, D., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Sánchez-García, P., y Rodríguez-García, M. N. (2012). Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 947, 69–76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.6>
- Flores-Sánchez, I. D., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, E. G., Sánchez-García, P., Soto-Hernández, R. M., Uscanga-Mortera, E. (2021). Caracteres agronómicos de dos poblaciones de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 733 – 749. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43738>

- Footitt, S., Huang, Z., Clay, H.A., Mead, A. y Finch-Savage, W.E. (2013). Temperature, light and nitrate sensing coordinate Arabidopsis seed dormancy cycling, resulting in winter and summer annual phenotypes. *Plant Journal*, 74: 1003–1015. <https://doi.org/10.1111/tpj.12186>
- Fotirić, A. M., Rakonjac, V., Cerović, R., Nikolić, D., Čolić, S., y Meland, M. (2017). Flowering of “Oblacinska” sour cherry clones in Serbia. *Acta Horticulturae*, 1162:23-30. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1162.5>
- Franklin, K. A., Toledo-Ortiz, G., Pyott, D. E. y Halliday, K. J. (2014). Interaction of light and temperature signalling. *Journal of Experimental Botany*, 65(11):2859–2871. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru059>
- Gallace, N., Boonen, M., Lieten, P., y Bylemans, D. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution: implications for flowering and yield in day-neutral cultivars. *Acta Horticulturae*, 1156, 223–228. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1156.34>.
- Gandica, O. H., y Peña, H. (2015). Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27(2): 111-120. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612015000200007&script=sci_abstract&lng=en
- García-López, J.I., Ruiz-Torres, N.A., Lira-Saldivar, R.H., Vera-Reyes, I. y Méndez-Argüello, B. (2016). *Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas*. In Lira-Saldivar, E.R.H., Méndez-Argüello, B. (Eds.), *Agronano Tecnología, CONACYT, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y Centro de Investigación en Química Aplicada: Saltillo, Mexico*,; pp. 241–262. Available online: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/149/1/Libro%20Agronano%20tecnologia.pdf>.
- García-Macías, P., Waroonphan, S., Hadley, P., Ordidge, M., Battey, N. H., John, P., Vysini, E., Gordon, M. H., Lovegrove, J. A. y Wagstaffe, A. (2007). Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (*Lollo rosso*) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55: 10168–10172. <https://doi.org/10.1021/jf071570m>
- Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L., Ayala-Garay, O., Santamaría, J.M. y Pinzón-López, L. (2014). Acondicionamiento pre-siembra: Una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48, 413–423. Available online: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30232499006>.
- Gastelum-Osorio, D. A., Sandoval-Villa, M., Trejo-López, C., y Castro-Brindis, R. (2013). Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 197 – 210. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.002>

- Gebhardt, C. (2016). The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theoretical and Applied Genetics*, 129: 2281–2294. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2804-1>
- Gehring, C. y Turek, I.S. (2017). Cyclic nucleotide monophosphates and their cyclases in plant signaling. *Front. Plant Sci.*, 8, 1704. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01704>.
- Gellatly, K., y Dennis, D. T. (2011). Plant biotechnology and GMOs. In: M. Moo-Young (Ed.), *Comprehensive biotechnology*, (2nd Ed., pp. 9-22). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00272-5>
- Gerrano, A. S., van Rensburg, W. S. J. y Kutu, F. R. (2019). Agronomic evaluation and identification of potential cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes in South Africa, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 69(4):295-303. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1562564>
- Gilbert, J. L., Olmstead, J. W., Colquhoun, T. A., Levin, L. A., Clark, D. G., y Moskowitz, H. R. (2014). Consumer-assisted selection of blueberry fruit quality traits. *HortScience*, 49(7): 864–873. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.7.864>.
- Gilliam, M., Dayod, M., Hocking, B. J., Xu, B., Conn, S. J., Kaiser, B. N., Leigh, R. A., y Tyerman, S. D. (2011). Calcium delivery and storage in plant leaves: Exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany*, 62(7), 2233 – 2250. <https://doi.org/10.1093/jxb/err111>
- González, C. F., Cabezas, G. M., Ramírez-Gómez, M., y Ramírez, D. J. (2018). Curvas de absorción de macronutrientes en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para panela, en la hoya del río Suárez. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 395 – 404. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>
- González-Fontes, A., Navarro-Gochicoa, M. T., Ceacero, C. J., Herrera-Rodríguez, M. B., Camacho-Cristóbal, J. J., y Rexach, J. (2017). Understanding calcium transport and signaling, and its use efficiency in vascular plants. In M. A. Hossain, T. Kamiya, D. Burrit, L.-S. P. Tran, y T. Fujiwara (Eds.), *Plant Macronutrient Use Efficiency* (N. 1, pp. 165 – 180). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811308-0.00009-0>
- Goykovic, C. V., y Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 25(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- Green, F.B. y Corcoran, M.R. (1975). Inhibitory action of five tannins on growth induced by several gibberellins. *Plant Physiol.*, 56, 801–806. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC541928/pdf/plntphys00153-0082.pdf>.
- Gruda, N. (2005). Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(3):227-247. <https://doi.org/10.1080/07352680591008628>

- Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., Yang, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*, 4(2), 83 – 91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>
- Hatfield, J. L. y Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10:4–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hernández-Rodríguez, P., Pabón, B. L. y Rodríguez, L. H. (2019). Flavonoids: Potential therapeutic agents by their antioxidant capacity. In Segura, C. M. R. (Ed.), *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications* (pp. 265-288). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00014-1>
- Horneck, D.A. y Miller, R.O. (1997). Determination of total nitrogen in plant tissue. In Y.P. Kalra (Ed.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* (1st ed., pp. 75 – 83). <https://doi.org/10.1201/9781420049398.CH9>
- Hussein, R. A. y El-Anssary, A. A. (2018). Plants secondary metabolites: The key drivers of the pharmacological actions of medicinal plants. In Builders, P. F. (Ed.), *Herbal Medicine* (pp. 11-30). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76139>
- Ibarra-Estrada, E., Soto-Hernández, R. M. y Palma-Tenango, M. (2016). Metabolomics as a tool in agriculture. In Prasain, J. K. (Ed.), *Metabolomics: Fundamentals and applications* (pp. 147-168). Intech Open Science. <http://dx.doi.org/10.5772/66485>
- Islam, M. Z., Lee, Y-T., Mele, M. A., Choi, I-L. y Kang, H-M. (2019). Effect of fruit size on fruit quality, shelf life and microbial activity in cherry tomatoes. *AIMS, Agriculture and Food*, 4(2):340-348. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.2.340>
- Islam, M. Z., Mele, M. A., Choi, K-Y. y Kang, H-M. (2018). Nutrient and salinity concentrations effects on quality and storability of cherry tomato fruits grown by hydroponic system. *Bragantia*, 77(2): 1-9. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017185>
- Islam, M. Z., Mele, M. A., Baek, J. P. y Kang, H-M. (2016). Cherry tomato qualities affected by foliar spraying with boron and calcium. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(1):46-52. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0097-6>
- Jacquot, A., Chaput, V., Mauries, A., Li, Z., Tillard, P., Fizames, C., Bonillo, P., Bellegarde, F., Laugier, E., Santoni, V., Hem, S., Martin, A., Gojon, A., Schulze, W. y Lejay, L. (2020). NRT2.1 C-terminus phosphorylation prevents root high affinity nitrate uptake activity in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*, 228, 1038 – 1054. <https://doi.org/10.1111/nph.16710>
- Jiang, C., Johkan M., Hohjo M., Tsukagoshi, S. y Maruo, T. (2017). A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. *HortResearch*, 71, 37–42. <https://doi.org/10.20776/S18808824-71-p37>
- Jing, L., Li, J., Song, Y., Zhang, J., Chen, Q. y Han, Q. (2018). Characterization of a potential ripening regulator, *SINAC3*, from *Solanum lycopersicum*. *Open Life Sciences*, 13: 518–526. <https://doi.org/10.1515/biol-2018-0062>

- Jo, W. J. y Shin, J. H. (2020). Effect of leaf-area management on tomato plant growth in greenhouses. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61: 981-988. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00283-1>
- Jones, M. A. (2018). Using light to improve commercial value. *Horticulture Research*, 5(47): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0049-7>
- Juárez-López, P., Medina-Torres, R., Reed, D. Wm., Kent, M., Cisneros-Cevallos, L., King, S. y Ramírez-Vallejo, P. (2014). Effect of Electrical Conductivity of the Nutrient Solution on Fruit Quality of Three Native Tomato Genotypes (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Acta Horticulturae*, 1034: 505-508. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.63>
- Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Reed, D. Wm., Cisneros Zevallos, L. y King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(2):207–216. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.02.013>
- Karagiannis, E., Michailidis, M., Skodra, C., Molassiotis, A. y Tanou, G. (2021). Silicon influenced ripening metabolism and improved fruit quality traits in apples. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166: 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.037>
- Karthika, K. S., Rashmi, I. y Parvathi, M. S. (2018). Biological Functions, Uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. In: M. Hasanuzzaman, M. Fujita, H. Oku, K. Nahar, y B. Hawrylak-Nowak (Eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance* (N. 1, pp. 1–49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_1
- KC, H.B., Joshi, B. K., Acharya, A. K. y Aryal, K. (2017). Semi-domesticated plant genetic resources in Nepal. In B. K. Joshi, H. B. KC. y A. K. Acharya (Eds.), *Conservation and utilization of agricultural plant genetic resources in Nepal: Proceedings of 2nd National Workshop*, pp. 410-414). NAGRC, FDD, DoA & MoAD, Kathmandu, Nepal. https://www.researchgate.net/publication/344605604_Semi-domesticated_Plant_Genetic_Resources_in_Nepal
- Keller, M. (2020). Chapter 2: Phenology and Growth Cycle. In: M. Keller (Ed.), *The Science of Grapevines*, (3rd. edition, 61-103). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816365-8.00002-6>.
- Kołodziejek, J., Patykowski, J. y Wala, M. (2017). Effect of light, gibberellic acid and nitrogen source on germination of eight taxa from disappearing European temperate forest, *Potentillo albae-Quercetum*. *Scientific Reports*, 7(13924): 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13101-z>
- Konica Minolta (2007). Precise color communication: Color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sesting Inc., Osaka, Japan. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf

- Krohling, C. A., Eutrópio, F. J., Azevedo, B. A., Barros, D. L., Campostrini, E., Dias, T., y Coutinho, R. A. (2016). Ecophysiology of iron homeostasis in plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(1), 39 – 47. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2015.1123116>
- Kumar, N. y Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Laferriere, J. E., Weber, C. W. y Kohlhepp, E. A. (1991). Use and nutritional composition of some traditional mountain pima plant foods. *Journal of Ethnobiology*, 11(1), 93-114. <https://ethnobiology.org/sites/default/files/pdfs/JoE/11-1/Laferriere.pdf>
- Lam, V. P., Kim, S. J. y Park, J. S. (2020). Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *Agronomy*, 10(76):1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010076>
- Lara, T.S., Lira, J.M.S., Rodrigues, A.C., Rakocevic, M. y Alvarenga, A.A. (2014). Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *J. Agric. Sci.*, 6, 72–80. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n2p72>.
- Lee, J. Y., Rahman, A., Azam, H., Kim, H. S. y Kwon, M. J. (2017) Characterizing nutrient uptake kinetics for efficient crop production during *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* Alef. growth in a closed indoor hydroponic system. *PLoS ONE*, 12(5): e0177041. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177041>
- Lee, J. W., Kim, Y. C., Kim, J. U., Jo, I. H., Kim, K. H., Kim, D. H. (2016). Effects of gibberellic acid and alternating temperature on breaking seed dormancy of *Panax ginseng* C. A Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 24(4): 284–293. <http://dx.doi.org/10.7783/KJMCS.2016.24.4.284>
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A. y Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209–219. [https://www.researchgate.net/publication/309704090_Role_of_Nitrogen_for_plant_Growth_and_Development_A_review#:~:text=All%20plants%20utilize%20nitrogen%20\(N,and%20physiological%20functions%20of%20plant.](https://www.researchgate.net/publication/309704090_Role_of_Nitrogen_for_plant_Growth_and_Development_A_review#:~:text=All%20plants%20utilize%20nitrogen%20(N,and%20physiological%20functions%20of%20plant.)
- Leite R. da S, Tanan, T. T., do Nascimento, M. N., de Oliveira, L. M. y da Silva, A. P. A. (2017). Hydroponic cultivation of *Physalis angulata* L.: growth and production under nitrogen doses. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 47(2): 145-151. <https://www.scielo.br/j/pat/a/pq4GJZfN8rvNYr574JzsbK/?lang=en&format=pdf>
- Leváková, L. Lacko-Bartošová, M. (2017). Phenolic acids and antioxidant activity of wheat species: A review. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 63(3): 92–101. <https://doi.org/10.1515/agri-2017-0009>
- Liang, L. (2019). Phenology. In *Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier, 1-7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11739-7>

- Li, B., Lecourt, J. y Bishop, G. (2018b). Advances in non-destructive early assessment of fruit ripeness towards defining optimal time of harvest and yield prediction—A review. *Plants*, 7(3): 1-20. <https://doi.org/10.3390/plants7010003>
- Li, J., Jia, Y., Dong, R., Huang, R., Liu, P., Li, X., Wang, Z., Liu, G. y Chen, Z. (2019). Advances in the mechanisms of plant tolerance to manganese toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5096). <https://doi.org/10.3390/ijms20205096>
- Li, L., Shewry, P. R. y Ward, J. L. (2008). Phenolic Acids in Wheat Varieties in the healthgrain diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 9732–9739. <https://doi.org/10.1021/jf801069s>
- Li, X., Siddique, K. H. M., Akinnifesi, F., Callens, K., Broca, S., Noorani, A., Henrich, G., Chikelu, M. y Bayasgalanbat, N. (2018a). Chapter 1. Introduction: Setting the scene. In Xuan, L. y Kadambot, H. M. S. (Eds.), *Future smart food - Rediscovering hidden treasures of neglected and underutilized species for zero hunger in Asia* (pp. 15-32). FAO. <http://www.fao.org/3/I8907EN/i8907en.pdf>
- Linares, M. E. y Bye, B. R. (2015). Las especies subutilizadas de la milpa. *Revista Digital Universitaria*, 16(5):1-22. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art35/art35.pdf>
- Liu, J., Hefni, M. E. y Witthöft, C. M. (2020). Characterization of flavonoid compounds in common Swedish berry species. *Foods*, 9(358):1-13. <https://doi.org/10.3390/foods9030358>
- Liu, J., Xue, T. y Shen, Y. (2019). Effect of nitric oxide on seed germination and dormancy in empress tress. *HortTechnology*, , 29, 271–275. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04250-18>.
- Liu, M., Song, Y., Liu, H., Tang, M., Yao, Y., Zhai, H., Gao, Z. y Du, Y. (2021). Effects of flower cluster tip removal on phenolics and antioxidant activity of grape berries and wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 72(4):299-306. <https://doi.org/10.5344/ajev.2021.20072>
- Loypimai, P., Paewboonsom, S., Damerow, L. y Blanke, M. M. (2017). The wax bloom on blueberry: Application of luster sensor technology to assess glossiness and the effect of polishing as a fruit quality parameter. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 90 : 154-158. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.019>
- Luna-Flete, J. A., Can-Chulim, A., Cruz-Crespo, E., Bugarín-Montoya, R. y Valdivia-Reynoso, M. G. (2018). Intensidad de raleo y soluciones nutritivas en la calidad de tomate cherry. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1):59-66. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802018000100059
- Ma, H. Y., Zhao, D. D., Ning, Q. R., Wei, J. P., Li, Y., Wang, M. M., Liu, X. L., Jiang, C. J. y Liang, Z. W. (2018). A multi-year beneficial effect of seed priming with gibberellic acid-3 (GA₃) on plant growth and production in a perennial grass, *Leymus chinensis*. *Scientific Reports*, 8:13214. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31471-w>

- Malhotra, H., Vandana, Sharma, S. y Pandey, R. (2018). Phosphorus nutrition: Plant growth in response to deficiency and excess. In M. Hasanuzzaman, M. Fujita, H. Oku, K. Nahar, y B. Hawrylak-Nowak (Eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance* (N. 1, pp. 171–190). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7
- Manamohana, K., Bijur, G., Malarout, N., Singla, B., Pavithra, S. y Naik, N. (2020). Applications of colour models in the food processing industry: A systematic review. *Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/Egyptology*, 17(9):3496-3512. <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/4405>
- Marchese, M., Tuttobene, R., Restuccia, A., Longo, A.M.G., Mauromicale, G. y Restuccia, G. (2008). Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme grown in greenhouse. In A. Santini, N. Lamaddalena, G. Severino, y M. Palladino (Eds.), *Irrigation in mediterranean agriculture: Challenges and innovation for the next decades* (N. 84, pp. 311–315). Options Méditerranéennes, Series A: Mediterranean Seminars. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM). <https://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=800978>
- Mardanluo, S., Souri, M. K. y Ahmadi, M. (2018). Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12):1604-1614. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1463383>
- Martinez, V., Mestre, T. C., Rubio, F., Girones-Vilaplana, A., Moreno, D. A., Mittler, R. y Rivero, R. M. (2016). Accumulation of flavonols over hydroxycinnamic acids favors oxidative damage protection under abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 7(838): 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00838>
- Martínez-Damián, M. T., Cruz-Alvarez, O., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T. y Góngora-Canto, M. A. (2017). Yield, physicochemical quality, and antioxidant capacity of "beef" and wild tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) as a function of the electrical conductivity of the nutrient solution. *Agronomía Colombiana*, 35(3):330-339. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n3.64905>
- Martínez-Vázquez, E. A., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J. y Reyes-López, D. (2016). Heterosis de cruas entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimiento y líneas tipo saladette. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(1):67-77. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000100011
- Mbonihankuye, C., Kusolwa, P. y Msogoya, T. J. (2013). Assessment of the effect of pruning systems on plant developmental cycle – yield and quality of selected indeterminate tomato lines. *Acta Horticulturae*, 1007: 535–542. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1007.61>
- Medeiros, J. G. S., De Bona C. M., Cuquel F. L. y Biasi L. A. (2017). Performance of blueberry cultivars under mild winter conditions. *Ciência Rural*, 47(9):e20160795. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160795>

- Mendoza-Rodríguez, M. N., González-Barraza, L., Argüelles-Martínez, L., Hernández-Ramírez, I., Cervantes-Rodríguez, M., Rodríguez-Salazar, O., Aguilar-paredes, A. y Méndez-Iturbide, D. (2016). Antioxidant property of the wild fruit pipisco (*Jaltomata procumbens*), and its application in the preparation of a sauce. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1(2), 83–96. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2016.1.2.83>
- Meneses-Buitrago, D. H., Bolaños-Benavides, M. M., Gómez-Gil, L. F. y Ramos-Zambrano, H. S. (2019). Evaluation of irrigation and pruning on the phenology and yield of *Theobroma cacao* L. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3). <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.36307>
- Mera, O. L. M., Castro, L. D., Bye, B. R. A., Rodríguez, S. J., Palomino, G., Martínez, R. J., Laad, M., Linares, M. E., Villanueva, V. C., Morales de León, J., Ruíz, J. S., Pérez, G. F., Solano, M. de L., Álvarez, V. J., Sistema Productos Hortalizas, y Figueroa, E. (2013). Evaluación del complejo *Portulaca oleracea* L. involucrado en la producción de verdolaga como hortaliza 2010. En: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (Ed.), *Resúmenes ejecutivos: ejercicio fiscal 2010* (pp. 173–175). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232379/Resumenes_ejecutivos_ejercicio_fiscal_2010.pdf
- Mera-Ovando, L. M., Alvarado-Flores, R., Basurto-peña, F., Bye-Bottler, R., Castro-Lara, D., Evangelista, V., Mapes-Sánchez, C., Martínez-Alfaro, M. Ä., Molina, N. y Saldívar, J. (2003). “De quelites me como un taco”. Experiencia en educación nutricional. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 24(1-2), 45–49. <https://www.jstor.org/stable/42597191>
- Mione, T. (Universidad Estatal Central de Connecticut, Nueva Bretaña, CT, USA). Comunicación Personal. 2018
- Mione, T. (2017). Heritability of floral traits estimated with regression for *Jaltomata procumbens* (Solanaceae). *Journal of Biology and Nature*, 7(4): 190-200. https://www.researchgate.net/publication/319099474_HERITABILITY_OF_FLORAL_TRAITS_ESTIMATED_WITH_REGRESSION_FOR_Jaltomata_procumbens_Solanaceae
- Mione, T. y Anderson, G. J. (2017). Genetics of floral traits of *Jaltomata procumbens* (Solanaceae). *Brittonia*, 69(1):1-10. <https://doi.org/10.1007/s12228-016-9447-z>
- Mione, T., Leiva, G. S. y Yacher, L. (2015a). *Jaltomata sanmiguelina* (Solanaceae), a new species from northern Peru. *Natural Sciences*, 3(11): 3-13. https://www.researchgate.net/publication/298214870_Jaltomata_sanmiguelina_Solanaceae_a_new_species_from_northern_Peru
- Mione, T., Leiva, G. S. y Yacher, L. (2015b). Two new Peruvian species of *Jaltomata* (Solanaceae, Solaneae) with red floral nectar. *Brittonia*, 67(2): 105-112. <https://doi.org/10.1007/s12228-014-9360-2>
- Mione, T. y Spooner, D. M. (2010). *Jaltomata bohiana*: A New Species and Key to the *Jaltomata* (Solanaceae) of Mexico. *Novon*, 20(2): 186-189. <https://doi.org/10.3417/2009025>

- Mione, T., Leiva, G. S. y Yacher, L. (2007). Five New Species of *Jaltomata* (Solanaceae) from Cajamarca, Peru. *Novon*, 49-58. [https://doi.org/10.3417/1055-3177\(2007\)17\[49:FNSOJS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3417/1055-3177(2007)17[49:FNSOJS]2.0.CO;2)
- Mione, T. y Yacher, L. (2005). *Jaltomata* (Solanaceae) of Costa Rica. In Keating, R. C., Hollowell V. C., and Croat T. B. (Eds.), *A Festschrift for William G. D'Arcy: The Legacy of a Taxonomist* (pp. 117-130). Missouri Botanical Garden Press. USA. <https://web.ccsu.edu/faculty/mione/pdf/JaltomataCostaRica.pdf>
- Mione, T. y Bye, R. (1996). *Jaltomata chihuahuensis* (Solanaceae): A New Combination and Observations on Ecology and Ethnobotany. *Novon*, 6(1): 78-81. <https://doi.org/10.2307/3392216>
- Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, E., Ladányi, M., Zámboriné, N. E. y Radácsi, P. (2020). The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. *Agriculture*, 10 (94), 1-11. <https://doi:10.3390/agriculture10040094>
- Moazz, A. M., Javed, T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I. y Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, 10(498): 1-10. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110498>
- Moore, B.D., Andrew, R.L., Külheim, C. y Foley, W.J. (2014). Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context. *New Phytologist*, 201:733–750. <https://doi.org/10.1111/nph.12526>
- Moreno, M.B.L. y Jiménez, S.S.C. (2013). Efecto del acondicionamiento osmótico en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Santa Clara. *Conexión Agropecuaria JDC*, 3(2):11–17. <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/309>.
- Moreno-Ramírez, Y. del R., Martínez-Ávila, G. C. G., González-Hernández, V. A., Castro-López, C. y Torres-Castillo, J. A. (2018). Free radical-scavenging capacities, phenolics and capsaicinoids in wild piquin chili (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*). *Molecules*, 23(2655):1-16. <https://doi.org/10.3390/molecules23102655>
- Mousavi, L., Ishak, W. y Mousavi, M. (2019). Evaluation of physicochemical methods for dormancy breakage and germination of *Datura stramonium* seeds. *Journal of Chemical Health Risks*, 9(3):217–224. <https://doi.org/10.22034/jchr.2019.668186>
- Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G., Flores, M. F., Urrestarazu, M. y Álvaro, J. E. (2017). Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HORTSCIENCE*, 52(6):868–872. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12026-17>
- Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P. y Nikam, T. D. (2016). Plant salt stress: Adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, 82:371-406. <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9173-y>

- Muratore, C., Espen, L. y Prinsi, B. (2021). Nitrogen uptake in plants: The plasma membrane root transport systems from a physiological and proteomic perspective. *Plants*, 10(681). <https://doi.org/10.3390/plants10040681>
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C. y Martínez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>
- N'Danikou, S. y Tchokponhoue, D.A. (2019). Plant domestication for enhanced food security. In Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Özuyar P. y Wall T. (Eds.), *Zero hunger*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69626-3_96-1
- Nguyen, N. T., McInturf, S. A. y Mendoza-Cózatl, D. G. (2016). Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments*, 113: e54317. <https://doi.org/10.3791/54317>.
- Noulas, C., Tziouvalekas, M. y Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49:252 – 260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
- Novotny, I. P., Tittonell, P., Fuentes-Ponce, M. H., López-Ridaura, S. y Rossing, W. A. H. (2021). The importance of the traditional *milpa* in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico. *PLoS ONE*, 16(2):e0246281. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281>
- Olayinka, E. T., Ore, A., Adeyemo, O. A. y Ola, O, S. (2019). The role of flavonoid antioxidant, morin in improving procarbazine-induced oxidative stress on testicular function in rat. *Porto Biomedical Journal*, 4(1), e28:1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbj.0000000000000028>
- ONU (2014). Informe del grupo de trabajo abierto de la Asamblea General sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A/68/970. 27 pp. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/68/970&referer=/english/&Lang=S
- Osakabe, Y., Arinaga, N., Umezawa, T., Katsura, S., Nagamachi, K., Tanaka, H., Ohiraki, H., Yamada, K., Seo, S., Abo, M., Yoshimura, E., Shinozaki, K. y Yamaguchi-Shinozaki, K. (2013). Osmotic stress responses and plant growth controlled by potassium transporters in Arabidopsis. *The plant Cell*, 25, 609–624. <http://www.plantcell.org/cgi/doi/10.1105/tpc.112.105700>
- Panche, A. N., Diwan, A. D. y Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47: 1-15. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Pandey, J., Bastola, T., Tripathi, J., Tripathi, M., Rokaya, R. K., Dhakal, B., Rabin D. C., Bhandari, R. y Poudel, A. (2020). Estimation of total quercetin and rutin content in *Malus domestica* of Nepalese origin by HPLC method and determination of their antioxidative activity. *Journal of Food Quality*, 2020(8853426): 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/8853426>

- Pece, M.G., Gaillard de Benítez, C., Acosta, M., Bruno, C., Saavedra, S. y Buvenas, O. (2010). Germinación de *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze (tipa blanca) en condiciones de laboratorio. *Quebracho-Rev. Cienc. For.*, 18, 5–15. Available online: https://www.researchgate.net/publication/276268585_Germinacion_de_Tipuana_tipu_Benth_O_Kuntze_tipa_blanca_en_condiciones_de_laboratorio.
- Pérez-Labrada, F., Benavides-Mendoza, A., Valdez-Aguilar, L. A. y Robledo-Torres, V. (2016). Citric acid in the nutrient solution increases the mineral absorption in potted tomato grown in calcareous soil. *Pakistan Journal of Botany*, 48(1): 67-74.
- Pichersky, E. y Raguso, R. A. (2016). Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytologist*, 220: 692–702. <https://doi.org/10.1111/nph.14178>
- Picó, F. X., Rodrigo, A. y Retana, J. (2008). Plant demography. In S. E. Jørgensen, y B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology*, (pp. 2811-2817). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00653-4>
- Pilatti, R. A. y Bouzo, C. A. (2000). Nota corta: efecto del bajado de plantas sobre la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en invernadero. Investigación Agraria. *Producción y Protección Vegetales*, 15(1–2): 143–150. http://www.inia.es/gcontrec/pub/pilat_1161155531937.pdf
- Ponce-Valerio, J. J., Peña-Lomelí, A., Sánchez-del-Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R. y Magaña-Lira, N. (2011). Evaluación de podas en dos variedades de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en campo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 151–160. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v17n3/v17n3a7.pdf>
- Powell, J. G., (2007). The Floral Phenology and Mechanism of Delayed Selfing in *Jaltomata repandidentata* (Solanaceae). Thesis. Department of Biology. Central Connecticut State University. New Britain, Connecticut.
- Preciado, R. P., Baca, C. G. A., Tirado, T. J. L., Kohashi-Shibata, J., Tijerina, C. L. y Martínez, G. A. (2002). Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 267–276. <https://www.researchgate.net/publication/237036648>
- Preciado-Rangel, P., Hernández-Montiel, L. G., Valdez-Cepeda, R. D., Cruz-Lázaro, E., Lara-Capistrán, L., Morales-Morales, B. y Gaucin-Delgado, J. M. (2021). Biofortification with selenium increases bioactive compounds and antioxidant capacity in tomato fruits. *Terra Latinoamericana*, 39:1-10. e979. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.979>
- Qiu, C., Smuts, J. y Schug, K. A. (2017). Analysis of terpenes and turpentines using gas chromatography with vacuum ultraviolet detection. *Journal of Separation Science*, 40: 869–877. <https://doi.org/10.1002/jssc.201601019>
- Quintero, C. M. F., Guillen, C. G., Delgado, S. P., Marín-Sánchez, J., Guzmán, A. I., Sánchez, A. y Guzmán, J. M. (2018). Relieving dormancy and improving germination of Piquín chili pepper (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) by priming techniques. *Cogent Food & Agriculture*, 4: 1550275. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1550275>

- Ragel, P., Raddatz, N., Leidi, E. O., Quintero, F. J. y Pardo, J. M. (2019). Regulation of K⁺ Nutrition in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 10:281. doi: 10.3389/fpls.2019.00281
- Rahman, S. M. E., Mele, M. A., Lee, Y-T. y Islam, M. Z. (2021). Consumer preference, quality, and safety of organic and conventional fresh fruits, vegetables, and cereals. *Foods*, 10(105): 1-17. <https://doi.org/10.3390/foods10010105>
- Rai, S., Singh, P. K., Mankotia, S., Swain, J. y Satbhai, S. B. (2021). Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. *Plant Stress*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100008>
- Ramos-Hryb, A. B., Cunha, M. P., Kaster, M. P. y Rodrigues, A. L. S. (2017). Natural polyphenols and terpenoids for depression treatment: current status. In Atta-ur-Rahman. (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 55, pp. 181-221). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64068-0.00006-1>
- Rana, M. S., Bhantana, P., Imran, M., Saleem, M. H., Moussa, M. G., Khan, Z., Khan, I., Alam, M. D., Abbas, M., Binyamin, R., Afzal, J., Syaifudin, M., Din, I. U., Younas, M., Ahmad, I., Shah, M. A. y Hu, C. (2020). Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. *Annals of Environmental Science and Toxicology*, 4(1), 032 – 044. <https://dx.doi.org/10.17352/aest.000024>
- Ratprakhon, K., Neubauer, W., Riehn, K., Fritsche, J. y Rohn, S. (2020). Developing an automatic color determination procedure for the quality assessment of mangos (*Mangifera indica*) using a CCD camera and color standards. *Foods*, 9(1709):1-19. <https://doi.org/10.3390/foods9111709>
- Raviv, M. y Lieth, J. H. (2008). Significance of soilless culture in agriculture. In Raviv, M. y Lieth, H. (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 1-13). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50003-4>
- Ribeiro, L. R., Leonel, S., Azevedo, J. M. S., Garcia, E. L., Leonel, M., Honorato, M. L. N., Silva, M. de S. y Ferreira, R. B. (2020). Improving the nutritional value and extending shelf life of red guava by adding calcium chloride. *LWT - Food Science and Technology*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109655>
- Rosas, E. C, Correa. L. B. y Henriques, M. G. (2019). Antiinflammatory properties of schinus terebinthifolius and its use in arthritic conditions. In Watson, R. R. y Preedy, V. R. (Eds.), *Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related Inflammatory Diseases* (pp. 489-505). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813820-5.00028-3>
- Sabino-López, J. E., Sandoval-Villa, M., Alcántar-González, G., Ortiz-Solorio, C., Vargas-Hernández, M. y Colinas-León, T. (2016). Fenología de *Physalis peruviana* L. cultivada con base en tiempo térmico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17: 3521-3528. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506011>
- Salas-Pérez, L., González, F. J. A., García, C. M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S. y Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*, 8(17): 310 – 325.

- Saldívar-Iglesias, P., Laguna-Cerda, A., Gutiérrez-Rodríguez, F. y Domínguez-Galindo, M. (2010). Ácido giberélico en la germinación de semillas de *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2): 327–331. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43720093012>.
- Salgado-Meraz, L., Lobato-Ortiz, R., Pérez-Flores, L. J., Cruz-Izquierdo, S., Peña-Valdivia, C. y García-Zavala, J. J. (2018). Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo “cherry” *S. lycopersicum* L. Y *S. pimpinellifolium* L. con potencial en el mejoramiento genético. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4-A): 499-507.
- Sánchez, E., Berghage, R., Ford, T. y di Gioia, F. (2022). Hydroponics systems and principles of plant nutrition: Essential nutrients, function, deficiency, and excess. *The Pennsylvania State University*. 1-5 pp. <https://extension.psu.edu/hydroponics-systems-and-principles-of-plant-nutrition-essential-nutrients-function-deficiency-and-excess>
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. del C., Pineda-Pineda, J., Osuna, J. M., Rodríguez-Pérez, J. E. y Osuna-Encino, T. (2014). Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia*, 48(2):185-197. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30230743005.pdf>
- Santacruz-Oviedo, V.R., Cabral, M.B., Enciso-Garay, C.R. y Cabrera-Arredondo, G.A. (2018). Postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier) genotypes according to vernalization. *Acta Agronómica*, 67(2), 208-214. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.60866>
- Santos, R. O., Trindade, S. C., Maurer, L. H., Bersch, A. M., Sautter, C. K. y Penna, N. G. (2016). Physicochemical, antioxidant and sensory quality of brazilian blueberry wine. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3):1557-1568. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620140491>
- Sarukhán, J. (Universidad Nacional Autónoma de México). Comunicación Personal. 2020.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., de la Maza, J., Pisanty, I., Urquiza, H. T., Ruiz, G. S. P. y García, M. G. (2017). Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 127 pp. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Sintesis_CNM_2017.pdf
- SAS Institute *User’s Guide Version 9.2*. SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2008.
- SAS Institute *User’s Guide Version 9.0*. SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2002.
- Scalisi, A. y O’Connell, M. G. (2021). Relationships between soluble solids and dry matter in the flesh of stone fruit at harvest. *Analytica*, 2:14-24. <https://doi.org/10.3390/analytica2010002h>

- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N. y Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4): 364-371. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>
- Silber, A. y Bar-Tal, A. (2008). Nutrition of substrate-grown plants. In Raviv, M. y Lieth, H. (Eds.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (pp. 291-339). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50010-1>
- Singh, B. y Sharma, R. A. (2015). Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. *3 Biotech*, 5: 129-151. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0220-2>
- Singh, H. y Dunn, B. (2017). *Pruning hydroponic crops*. Oklahoma State University. <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-10803/HLA-6725web.pdf>
- Singh, V. K., Rajan, S., Singh, A. y Soni, M. K. (2015). Protected cultivation of horticultural crops. *ICAR-Central Institute for Subtropical Horticulture*, 1-27. https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/5381/1/Technical%20Bulletin_Protected%20Cultivation%20in%20Horticultural%20Crops.pdf
- Siueia, J. M., de Souza, S. M. L., Trevizam, A. R., Faquin, V. y da Silva, D. F. (2020). Postharvest quality of tomato as affected by nitrogen and sulfur interaction. *Acta agronómica*, 69(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v69n2.73691>
- Sousa, S. M., Cordeiro, C., Roessner, U. y Figueiredo, A. (2019). Editorial: Metabolomics in crop research—current and emerging methodologies. *Frontiers in Plant Science*, 10(1013):1-3. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01013>
- Srilatha, V., Reddy, Y. T. N., Upreti, K. K., Venugopalan, R. y Jayaram, H. L. (2016). Responses of pruning and paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.): changes in tree vigour, flowering and phenols. *Journal of Applied Horticulture*, 18(2):148-153. https://horticultureresearch.net/jah/2016_18_2_148_153.PDF
- Srinivasulu, C., Ramgopal, M., Ramanjaneyulu, G., Anuradha, C. M. y Suresh, K. C. (2018). Syringic acid (SA) - A review of its occurrence, biosynthesis, pharmacological and industrial importance. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 108:547-557. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.069>
- Stefanov, M., Yotsova, E., Rashkov, G., Ivanova, K., Markovska, Y., Apostolova, E. L. (2016). Effects of salinity on the photosynthetic apparatus of two *Paulownia* lines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101:54-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.01.017>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands, 633-650
- Sultana, R., Dilruba, S., Parveen, K., Kulsum, U. y Parvin, N. (2016). Effect of pruning on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *European International Journal of Science and Technology*, 5(9), 127-132. <https://pdfs.semanticscholar.org/f103/38bcee483a070735cf95d06a9f45f9175dec.pdf>

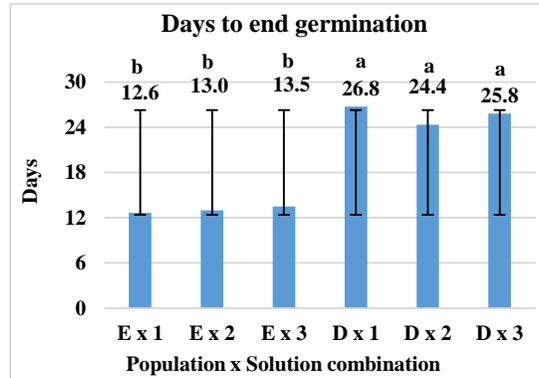
- Tahaei, A., Soleymani, A. y Shams, M. (2016). Seed germination of medicinal plant, fennel (*Foeniculum vulgare* Mill), as affected by different priming techniques. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 180, 26–40. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2082-z>.
- Tajoddin, M., Manohar, S. y Lalitha, J. (2014). Effect of soaking and germination on polyphenol content and polyphenol oxidase activity of mung bean (*Phaseolus aureus* L.) cultivars differing in seed color. *Int. J. Food Prop.*, 17, 782–790. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.654702>.
- Tang, R-J. y Luan, S. (2017). Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. *Current Opinion in Plant Biology*, 39: 97–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.009>
- Tao, J.-J., Chen, H.-W., Ma, B., Zhang, W.-K., Chen, S.-Y. y Zhang, J.-S. (2015). The role of ethylene in plants under salinity stress. *Frontiers in Plant Science*, 6(1059):1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01059>
- Thoma, F., Somborn-Schulz, A., Schlehner, D., Keuter, V. y Deerberg, G. (2020). Effects of light on secondary metabolites in selected leafy greens: A review. *Frontiers in Plant Science*, 11(497):1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00497>
- Thomas, B. (2017). Sources and sinks. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2(1). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00096-4>
- Torres, J., Pascual-Seva, N., San Bautista, A., Pascual, B., López-Galarza, S., Alagarda, J. y Maroto, J. V. (2015). Growth and nutrient absorption of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 38:485–496. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.934474>
- Tovar, M.G. (2005). Distribución Geográfica y Germinación del Jaltomate *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry. Master's Thesis. Plant Science Department, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mexico.; p. 78. Available online: <http://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=92156>.
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T-N, Park, S. y Ayele. B. T. (2019). Molecular mechanisms of seed germination. In Feng, H., Nemzer, B. y DeVries, J. W. (Eds.), *Sprouted Grains* (pp. 1-24). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00001-4>
- Vallejo, C. F. A., Pava, M. J. H., Vargas, M. J. A. y Arango, A. P. A. (1994). Capítulo IV: caracterización morfo-agronómica de especies y variedades botánicas del género *Lycopersicon*. *Acta Agronómica*, 44(1-4), 37–50. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15554/16308
- Velasco-Alvarado, M. de J., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Castro-Brindis, R., Cruz-Izquierdo, S., Corona-Torres, T. y Moedano-Mariano, M. K. (2017). Mexican native tomatoes as rootstocks to increase fruit yield. *Agricultural Research*, 77(3), 187–193. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392017000300187>

- Vibrans, H. (2009). *Jaltomata procumbens* (Cav.) J. L. Gentry, Jaltomate. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/jaltomata-procumbens/fichas/ficha.htm>
- Villaño, D., García-Viguera, C. y Mena, P. (2016). Colors: Health effects. In Caballero, B., Finglas, P. M. y Toldrá, F. (Eds.), *Enciclopedia of food and health* (pp. 265-272). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00190-2>
- Villarreal, R. M., García, E. R. S., Osuna, E. T. y Armenta, B. A. D. (2002). Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 311–320. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320310.pdf>
- Villette, J., Cuéllar, T., Verdeil, J-L., Delrot, S. y Gaillard, I. (2020). Grapevine Potassium Nutrition and Fruit Quality in the Context of Climate Change. *Frontiers in Plant Science*, 11(123). <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00123>
- Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K. R. y Formanek, P. (2011). Non-protein amino acids: Plant, soil and ecosystem interactions. *Plant Soil*, 342: 31-48. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0673-y>
- Wiesler, F. (2012). Nutrition and quality. In Marschner, P (Ed), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 271-282). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00009-1>
- Williams, D. E. (1993). *Lycianthes moziniana* (Solanaceae): An underutilized mexican food plant with "New" crop potential. *Economic Botany*, 47(4), 387–400. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02907353.pdf>
- Williams, D. E. (1985). Tres arvenses solanáceas comestibles y su proceso de domesticación en el estado de Tlaxcala, México. [Tesis Maestría en Ciencias, Colegio de postgraduados].
- World Health Organization (2020). Guidance on mainstreaming biodiversity for nutrition and health. *World Health Organization*. 100 pp. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/climate-change/mainstreaming-biodiversity-for-nutrition-and-health12d76606-87e-4857-9264-dd2b2924186a.pdf?sfvrsn=afd00782_1&download=true
- Wu, M. y Kubota, C. (2008). Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, 116: 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.014>
- Yamada, Y., Cane, D. E. y Ikeda, H. (2012). Diversity and analysis of bacterial terpene synthases. In Hopwood, D. A. (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 515, pp. 123-162). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394290-6.00007-0>
- Yamane, H., Konno, K., Sabelis, M., Takabayashi, J., Sassa, T. y Oikawa, H. (2010). Chemical defence and toxins of plants. In Hung-Wen, B. L. and Mander, L. (Eds), *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology* (Vol. 4, pp. 339-382). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00099-X>

- Yan, D., Easwaran, V., Chau, V., Okamoto, M., Lerullo, M., Kimura, M., Endo, A., Yano, R., Pasha, A., Gong, Y., Bi, Y-M., Provard, N., Guttman, D., Krapp, A., Rothstein, S. J. y Nambara, E. (2016). NIN-like protein 8 is a master regulator of nitrate-promoted seed germination in *Arabidopsis*. *Nature Communications*, 7:13179. <https://doi.org/10.1038/ncomms13179>
- Yang, L. Y., Yang, S. L., Li, J. Y., Ma, J. H., Pang, T., Zou, C. M., He, B. y Gong, M. (2018). Effects of different growth temperatures on growth, development, and plastid pigments metabolism of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants. *Botanical Studies*, 59(5):1-13. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0221-2>
- Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejerite, E. y Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. *Molecules*, 27(313):1-31. <https://doi.org/10.3390/molecules27010313h>
- Yoshinari, A. y Takano, J. (2017). Insights into the mechanisms underlying boron homeostasis in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8:1951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01951>
- Zhang, W., Zhang, X., Wang, Y., Zhang, N., Guo, Y., Ren, X. y Zhao, Z. (2018). Potassium fertilization arrests malate accumulation and alters soluble sugar metabolism in apple fruit. *Biology Open*, 7, bio024745. <https://doi.org/10.1242/bio.024745>
- Zapata, L., Heredia, A., Malleret, A., Quinteros, F., Cives, H. y Carlazara, G. (2013). Evaluación de parámetros de calidad que ayuden a definir la frecuencia de recolección de bayas de arándanos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 186–194. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81329290013>

ANEXOS

Annex 1.1



Annex 1.1. Effect of Population x Solution combination on days to end germination of two *J. procumbens* populations. Population: erect (E) and decumbent (D); solution: 1 (0.1% KNO₃), 2 (0.2% KNO₃), 3 (control). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Data taken among May 29th and June 30th, 2019. [†]Different letters above bars indicate statistical difference (Tukey, $P \leq 0.05$).

Anexo 6.1

Anexo 6.1. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) y poda en el contenido de ácidos fenólicos de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV	Ácidos fenólicos (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)						
	CE (dS m ⁻¹)	Sinápico	Siríngico	Ferúlico	Rosmarínico	Vainillico	Gálico <i>p</i> -cumárico
1	2.86 a	30.98 a	1.51 a	28.24 a	0.92 a	49.11 a	7.18 a
2	3.58 a	30.05 a	1.61 a	20.33 b	0.68 a	53.22 a	5.98 a
3	2.91 a	27.09 a	1.46 a	26.44 ab	0.93 a	56.72 a	6.23 a
Poda							
Con poda	3.25 a	29.87 a	1.60 a	26.07 a	0.81 a	53.55 a	5.81 a
Sin poda	2.98 a	28.88 a	1.45 a	23.93 a	0.87 a	52.48 a	7.12 a

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Anexo 6.2. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) y poda en el contenido de flavonoides de frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV		Flavonoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)			
CE (dS m ⁻¹)	Miricetina	Quercetina	Morina	Rutina	
1	6.89 a	5.98 a	33.08 a	24.60 a	
2	6.26 a	4.98 a	31.63 a	22.99 a	
3	7.68 a	6.08 a	36.16 a	27.96 a	
Poda					
Con poda	6.95 a	5.70 a	32.35 a	24.86 a	
Sin poda	6.94 a	5.66 a	34.90 a	25.51 a	

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).

Anexo 6.3

Anexo 6.3. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) y poda en el contenido de terpenoides en frutos de dos poblaciones de *J. procumbens*, cultivadas en tres niveles de conductividad eléctrica y dos manejos de poda. 1: 1 dS m⁻¹; 2: 2 dS m⁻¹; 3: 3 dS m⁻¹. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Julio – diciembre de 2019.

FV		Terpenoides (mg 100 g ⁻¹ de peso seco)				
CE (dS m ⁻¹)	Carnosol	Ác. ursólico	Ác. oleanólico	Estigmasterol	β –sitosterol	
1	0.23 a	26.11 a	9.60 a	12.31 a	14.59 a	
2	0.20 a	30.00 a	9.58 a	15.03 a	9.48 a	
3	0.17 a	25.70 a	9.06 a	13.91 a	13.38 a	
Poda						
Con poda	0.22 a	27.82 a	9.46 a	13.81 a	13.23 a	
Sin poda	0.18 a	26.72 a	9.37 a	13.69 a	11.74 a	

Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$).