



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE UNIVERSITARIA UNA - JUIGALPA

Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

Trabajo de Tesis

Evaluación de genotipos de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes de una población criolla tolerantes a alta temperatura periodo 2019-2021

Autores:

Br. Francis Elena Urbina Polanco

Br. Harvin Ezequiel Gudiel

Asesores:

MSc. Noel Duarte Rivas

MSc. Jorge Sobalvarro Mena

MSc. Juan Oporta López

Juigalpa, Chontales, Nicaragua

Julio, 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
SEDE UNIVERSITARIA UNA - JUIGALPA

Trabajo de Tesis

Evaluación de genotipos de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes de una población criolla tolerantes a alta temperatura periodo 2019-2021

Autores:

Br. Francis Elena Urbina Polanco
Br. Harvin Ezequiel Gudiel

Asesores:

MSc. Noel Duarte Rivas
MSc. Jorge Sobalvarro Mena
MSc. Juan Oporta López

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

Juigalpa, Chontales, Nicaragua
Julio, 2022

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la dirección de la sede universitaria UNA - Juigalpa como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente

Secretario

Vocal

Lugar y Fecha: _____

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedicamos a Dios, este trabajo está dedicado con mucho amor y cariño a nuestra familia, a las personas que han influenciado positivamente en nuestras vidas dándonos los mejores consejos, guiándonos para ser personas de bien, con todo nuestro amor y afecto se la dedicamos a ellos.

A nuestro país, que nos motiva a trabajar en el desarrollo y generar nuevas tecnologías para el sector agrícola, que permitan optimizar la producción y ser más eficientes.

A todos los agricultores de nuestro país que son el motor que impulsa a nuestra nación.

Finalmente, a todos aquellos que de una u otra manera nos brindaron su apoyo incondicional para culminar nuestros estudios y lograr tener éxitos en al ámbito profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios puesto que a Él pertenecemos y sin Dios no somos nada, todo es posible cuando caminamos a su lado, es Él la luz de nuestro camino.

A nuestra familia por su motivación y apoyo incondicional en la culminación de nuestros estudios, siempre recibimos su apoyo cuando lo necesitábamos.

A nuestros asesores MSc. Noel Duarte Rivas, al MSc. Jorge Sobalvarro y el MSc. Juan Oporta López por ser la orientación y los guías para la realización de este trabajo, nos han regalado su tiempo y compartieron su conocimiento el cual fue de mucha ayuda para nuestro crecimiento como Agrónomos.

A nuestra Universidad Nacional Agraria que nos permitió ser parte de ella, nos facilitó el espacio y todas las herramientas para poder realizar nuestra tesis.

A los profesores que nos impartieron cada clase y contribuyeron con nuestro aprendizaje.

A los compañeros de clases que nos acompañaban en los estudios, nuestros amigos que nos motivaron siempre con palabras de aliento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCION	PÁGINA
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación del área de estudio	11
4.2. Clima	12
4.3. Suelo	13
4.4. Hidrografía	13
4.5. Periodo de inicio y periodo de finalización del ensayo	14
4.6. Factor temperatura	14
4.7. Manejo del experimento	14
4.8. Diseño experimental	15
4.9. Variables por medir	16
4.10. Procesamiento y análisis de datos	19
V. RESULTADOS Y DISCUSION	20
VI. CONCLUSIONES	37
VII. RECOMENDACIONES	39
VIII. LITETARURA CITADA	40
IX. ANEXOS	46

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1 Rendimiento de grano y forraje de los genotipos evaluados en la prueba de progenie bajo condiciones de alta temperatura, establecida en Juigalpa (2020).	21-22
2 Incremento del rendimiento de líneas élites sobre el testigo. Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de	23
3 frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa (Primera, 2020).	24
4 Variables asociadas a la producción de forraje del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa (Primera, 2020).	24
5 Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad La Palma, Juigalpa (Primera, 2020).	25
6 Variables asociadas a la producción de forraje del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad La Palma, Juigalpa (Primera, 2020).	25
7 Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa, ciclo 2021 condiciones de riego y alta temperatura.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Ubicación de experimento (Fuente MTI, 2010)	11
2	Ubicación de experimento (Fuente MTI, 2019)	12
3	Temperatura durante el periodo crítico de floración (Juigalpa, 2020).	20
4	Temperatura ensayo Juigalpa riego febrero abril 2021. Contribución de los genotipos y ambientes a la interacción representada mediante los dos primeros componentes del	30
5	Modelo AMMI para rendimiento (kg ha^{-1}) de 16 genotipos de frijol rojo tolerantes a alta temperatura en cinco ambientes año 2020-2021 Contribución de los genotipos y ambientes a la interacción representada mediante los dos primeros componentes del	34
6	modelo AMMI para rendimiento (kg ha^{-1}) de 16 genotipos de frijol rojo tolerantes a alta temperatura en cinco ambientes año 2020-2021.	35

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Plano de campo de la parcela experimental durante la primera etapa del ensayo (Postrera, 2019).	47
2	Plano de campo de la parcela experimental durante la segunda etapa del ensayo (Juigalpa, 2020).	48
3	Planos de campo de la parcela experimental durante la tercera etapa del ensayo (Juigalpa y Palma, Primera, 2020).	49
4	Plano de campo de la parcela experimental durante la cuarta etapa del ensayo (Juigalpa, 2021).	50
5	Siembra de la parcela experimental (Juigalpa, 2019).	51

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es particularmente susceptible al estrés del calor durante el desarrollo reproductivo, temperaturas superiores a 27 °C limitan su productividad, provocando aborto floral, vainas pequeñas, infertilidad de polen, vainas pequeñas con menos semillas y menor rendimiento en producción de granos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar genotipos de frijol rojo proveniente de una población criolla bajo condiciones de alta temperatura. El trabajo se desarrolló en Juigalpa y San Pedro de Lovago, Chontales. Las variables evaluadas fueron: rendimiento Kg ha⁻¹, peso de 100 granos (g), vainas planta⁻¹, granos vaina⁻¹, plantas cosechadas, rendimiento de forraje verde kg ha⁻¹, materia seca (%), proteína bruta (%), vainas mal fecundadas (%), temperatura (°C). El análisis estadístico utilizado fue: porcentaje, análisis de varianza y análisis AMMI. Los resultados mostraron que los genotipos frijol PL 142, PL 154 y PL 82 presentan rendimientos de 4092 kg ha⁻¹, 3192.93 kg ha⁻¹, 2375.97 kg ha⁻¹, bajo condiciones de alta temperatura nocturna incrementando el rendimiento en un 61.61%, 30.78% y 24.66% respecto a la población original tomada como testigo ciclo 2020. Para ciclo 2021, presentaron rendimientos de 1415.38 kg ha⁻¹, 1545.01 kg ha⁻¹ hubo un incremento de 14.72% y 5.1 % respecto a la población original. Los genotipos PL 82, PL 142 y PL 154 presentan rendimientos de forraje verde de 15,781.11 kg ha⁻¹, 16,100 kg ha⁻¹ y 14,833.33 kg ha⁻¹ y de materia seca presentan rendimientos de 3,882.2 kg ha⁻¹, 3,874.4 kg ha⁻¹ y 3,589.8 kg ha⁻¹. Los genotipos PL 142, PL 157 y PL 153 presentan 22.06%, 22.06% y 19.19% de proteína bruta. El análisis AMMI demostró que el genotipo PL 142 es más estable y de mayor rendimiento a través de los ambientes. El genotipo con adaptabilidad específica a ambientes con alta temperatura fue el PL154.

Palabras clave: Cambio climático, interacción genotipo ambiente

ABSTRACT

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is particularly susceptible to heat stress during reproductive development, temperatures above 27 °C limit its productivity, causing floral abortion, small pods, pollen infertility, small pods with fewer seeds and lower yield in grain production. The objective of this research was to evaluate red bean genotypes from a Creole population under high temperature conditions. The work was carried out in Juigalpa and San Pedro de Lóvago, Chontales. The variables evaluated were: yield Kg ha⁻¹, weight of 100 grains (g), plant pods⁻¹, pod grains⁻¹, harvested plants, green forage yield kg ha⁻¹, dry matter (%), crude protein (%), poorly fertilized pods (%), temperature (°C). The statistical analysis used was: percentage, analysis of variance and AMMI analysis. The results showed that the bean genotypes PL 142, PL 154 and PL 82 present yields of 4092 kg ha⁻¹, 3192.93 kg ha⁻¹, 2375.97 kg ha⁻¹, under high night temperature conditions, increasing yield by 61.61%, 30.78% and 24.66% with respect to the original population taken as a control cycle 2020. For cycle 2021, they presented yields of 1415.38 kg ha⁻¹, 1545.01 kg ha⁻¹ there was an increase of 14.72% and 5.1% with respect to the original population. The PL 82, PL 142 and PL 154 genotypes present green forage yields of 15,781.11 kg ha⁻¹, 16,100 kg ha⁻¹ and 14,833.33 kg ha⁻¹ and dry matter yields of 3,882.2 kg ha⁻¹, 3,874.4 kg ha⁻¹. 1 and 3,589.8 kg ha⁻¹. The PL 142, PL 157 and PL 153 genotypes present 22.06%, 22.06% and 19.19% of crude protein. The AMMI analysis demonstrated that the PL 142 genotype is more stable and of higher yield across environments. The genotype with specific adaptability to high temperature environments was PL154.

Keywords: Climate change, genotype environment interaction

I. INTRODUCCION

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante a nivel mundial por su consumo humano directo, producido en diversos sistemas de cultivo y ambientes desde América latina, Medio Oriente, China, Europa, Estados Unidos y Canadá. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1994).

De acuerdo con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2009), en Nicaragua el frijol es la fuente de proteínas más importante en la dieta, el consumo per cápita es 26.1 kilogramos anual, se siembran alrededor de 244 mil hectáreas por pequeños y medianos productores que utilizan baja tecnología (p. 1).

El frijol se adapta a altitudes medias, temperaturas moderadas, suelos orgánicos y abundantes lluvias temporalmente, el cambio climático está modificando las zonas donde se distribuye este cultivo, representando así una amenaza para la producción agrícola (Barrera, 2016).

El frijol es particularmente susceptible al estrés del calor durante el desarrollo reproductivo Rosas et al. (2000), nos indica que la adaptación del frijol a temperaturas superiores a los 27 °C es baja. Las altas temperaturas nocturnas son más críticas que en el día, lo cual fue confirmado por Dickson y Petzoldt (1991) bajo condiciones controladas con temperaturas nocturnas de 27 °C (p. 2).

Las altas temperaturas en frijol es una de las principales limitantes en su productividad, provocando aborto floral, vainas pequeñas, infertilidad de polen, vainas pequeñas con menos semillas y menor rendimiento en producción de granos (Rodríguez y Gamarra, 2016).

En su investigación Hatfield y Prueger (2015), demostraron que temperaturas cálidas afectan el desarrollo de la planta, siendo la polinización la etapa más sensible a las temperaturas extremas, afectando en gran medida la producción.

En etapa reproductiva los efectos de las altas temperaturas reducen el número floral, aumento de aborto floral, reducción del número y viabilidad del polen (Porch, 2016).

El cambio climático es la mayor preocupación para la humanidad en el siglo XXI, ningún continente esta salvo de sus repercusiones, todas las reacciones químicas se deben en buena parte a la temperatura (Lara, 2015).

La temperatura global se ha incrementado gradualmente efecto del calentamiento global y seguirá así, la exposición de los cultivos al estrés por calor, puede causar daños irreversibles en las plantas

así mismo reducción del rendimiento y calidad de sus productos (Barrera, 2016).

Surgiendo la necesidad de desarrollar variedades tolerantes a este problema, el mejoramiento genético es una alternativa viable para generar variedades de frijol tolerantes a altas temperaturas. (Rodríguez y Gamarra, 2016).

Como respuesta al cambio climático, el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT, 2016), presenta dos variedades como tolerantes a alta temperatura la primera inscrita como “Güira89” que permite obtener rendimientos de 2.5 a 3 t ha⁻¹ y la variedad “Caujerí2170” cuyo rendimiento oscila entre 2 y 2.5 t ha⁻¹ (p. 39). Rivera (2017), en su trabajo de investigación encontró que las líneas de frijol común evaluadas bajo condiciones de altas temperaturas “Cedrón”, “Beniquez” y “FBN 1211-66” alcanzan rendimientos promedios mayores que otras líneas en distintas épocas, obteniendo rendimientos de 1430 kg ha⁻¹, 1559 kg ha⁻¹, 1871 kg ha⁻¹ respectivamente (p. 13).

Es necesario disponer y desarrollar investigaciones que permitan establecer la adaptabilidad del frijol hacia escenarios futuros para su adaptación a los incrementos de temperatura, la información obtenida servirá de sustento para los fitogenetistas de especies agrícolas.

Dada la necesidad de desarrollar variedades resistentes a altas temperaturas, con características deseables para el consumo en el mercado centro americano, el objetivo de este estudio fue evaluar la tolerancia y productividad de la variedad de frijol criolla “Polón” bajo condiciones de altas temperaturas en Juigalpa, Chontales Nicaragua.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar genotipos de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes de una población criolla tolerantes a alta temperatura, en los municipios de Juigalpa y San Pedro de Lóvago periodo 2019-2021

2.2. Objetivos Específicos

Demostrar el rendimiento de grano de los genotipos seleccionados bajo condiciones de alta temperatura utilizando los métodos de selección individual y prueba de progenie.

Estimar las variables agronómicas relacionadas al rendimiento de grano de genotipos tolerantes a alta temperatura

Determinar la producción de forraje de los genotipos seleccionados en condiciones favorables en cuanto a temperatura.

Analizar la interacción genotipo ambiente de las líneas sobresalientes en cinco ambientes de los municipios de Juigalpa y San Pedro de Lóvago

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. El Frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes debido a su distribución en los cinco continentes, un complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia y un elemento tradicionalmente importante en América latina en una gran cantidad de países en vías de desarrollo en los cuales se cultiva (IICA, 2009, p. 1).

Como lo expresa la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG, 2008), todo el frijol consumido a nivel nacional es producido en el país, las condiciones agroclimáticas del territorio permiten que Nicaragua sea autosuficiente en la producción de este grano. Se produce en fincas pequeñas principalmente, en laderas con suelos marginales; con insumos limitados y son muy pocas las fincas que se destinan a la producción de semilla (p. 2).

3.2. Etapas fenológicas

El CIAT (1986), señala que las etapas fonológicas se asocian a cambios en tamaño, morfología, composición química, composición hormonal de la planta, estos influyen en respuesta de los factores ambientales; la reacción de la planta a problemas, enfermedades, sequía, fertilización y defoliación, variando según sea la etapa de desarrollo en que ella se encuentre (p. 3).

Etapa De Germinación

El proceso de germinación empieza cuando la semilla que se ha sembrado absorbe agua y se hincha. Por lo tanto, cuando se siembra en suelo seco, el día correspondiente al primer riego es el que se debe considerar como día de siembra (CIAT, 1986, p. 11).

Etapa VI: Emergencia

Se inicia cuando los cotiledones del 50% de las plántulas del cultivo aparecen al nivel del suelo (CIAT, 1986, p. 13).

Etapa V2: Aparición De Hojas Primarias

Esta etapa se inicia cuando están desplegadas las hojas primarias del 50% de las plantas del cultivo (CIAT, 1986, p. 15).

Etapa V3: Primera Hoja Trifoliada

Esta etapa se inicia al desplegarse la primera hoja trifoliada en el 50% de las plantas del cultivo (CIAT, 1986, p. 17).

Etapa V4: Tercera Hoja Trifoliada

Cuando el 50% de las plantas del cultivo ha desplegado su tercera hoja trifoliada (CIAT, 1986, p. 18).

Etapa R5: Prefloración

La etapa R5, con la cual comienza la fase reproductiva, se inicia cuando en el 50% de las plantas aparecen los primeros botones florales o los primeros racimos según sea el hábito decrecimiento (CIAT, 1986, p. 21).

Etapa R6: Floración

Cuando está abierta la primera flor en el 50% de las plantas del cultivo, se ha iniciado la etapa R6 (CIAT, 1986, p. 23).

Etapa R7: Formación De Las Vainas

Después de la fecundación de la flor, la corola se marchita y la vaina empieza a crecer. Cuando aparece la primera vaina en el 50% de las plantas del cultivo se considera iniciada la etapa R7; en ese momento, la corola puede estar desprendida o puede colgar aun del extremo inferior de las vainas (CIAT, 1986, pp. 24-25).

Etapa R8: Llenado De Las Vainas

La Etapa R8 empieza cuando en el 50% de las plantas del cultivo la primera vaina cesa de alargarse y empieza a llenarse debido al crecimiento de las semillas; esto se puede comprobar mirando las vainas por el lado de las suturas: se observan los abultamientos correspondientes a las semillas en crecimiento (CIAT, 1986, pp. 26-27).

Etapa R9: Maduración

Se inicia cuando la primera vaina del 50% de las plantas de un cultivo cambia su color verde por amarillo o pigmentado; las hojas, empezando por las inferiores, adquieren un color amarillo y se caen (CIAT, 1986, p. 28).

3.3. Importancia del frijol

Desde el punto de vista del CIAT (1984), el frijol común es una leguminosa anual intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, es termófila, es decir, que no soporta las heladas. Cultivada en todo el mundo, para obtener semillas, las cuales tienen un alto contenido proteico, aproximadamente un 22%, calculado con base en la materia seca (p. 6).

Según el estudio realizado por Bendaña (2014), la producción mundial de frijol se ha mantenido a una tasa media de crecimiento anual de 2.8% para el periodo 2000-2010. En el 2010, la producción

mundial de frijol se ubicó en 23.2 millones de toneladas (p. 1).

Los principales productores de frijol a nivel mundial considerando su producción media anual en el periodo de 2000-2010 son: Brasil (16%), India (15.9%), Myanmar (10.5%), China (8.9%), México (5.8%) y los Estados Unidos (5.6%) (Secretaría de Economía, 2012, p. 8).

En Centroamérica se siembran más de 500,000 hectáreas, por año de frijol destacando Nicaragua y Guatemala en producción, en el caribe se siembran alrededor de 136,000 ha de este grano, siendo los países más productores Cuba, República Dominicana, y Haití para el área del caribe (Villanueva, 2010, p. 5).

El frijol es un eslabón importante en seguridad alimentaria en la región. En Nicaragua se siembran alrededor de 653,750 manzanas anuales rindiendo 13.33 QQ/Mz, que han permitido ser autosuficiente en los últimos años, a excepción del resto de rubros de la canasta básica familiar (Quezada, 2014, p. 61).

3.3.1. Producción de forraje para alimentación animal

De acuerdo con Gonzales y Chow (2008), las leguminosas juegan un papel muy importante en el rol alimenticio, tanto humano como animal. De todas las plantas alimenticias aprovechadas por la humanidad solamente las gramíneas son más importantes que las leguminosas (p. 9).

La producción de forraje es muy importante para la producción animal, Avila (2006) debido a su uso en la alimentación del ganado, el cual lo transforma en carne o leche principalmente, así como en otros sub-productos que el humano utiliza en su alimentación y aprovechamiento (p. 3).

Amador y Rojas (2002) sugieren que las leguminosas forrajeras tropicales son una opción de bajo costo para garantizar una alimentación adecuada al ganado, sin embargo, su uso ha sido limitado por la falta de conocimiento sobre la biodiversidad de recursos e insuficiencia de incentivos económicos (p. 1).

3.4. Factores que intervienen en la producción de frijol:

La producción de cualquier cultivo se verá afectada por factores bióticos y abióticos, Alarcón (2013) menciona que los factores bióticos son aquellos en los que el hombre puede tener influencia, (semilla y plagas) y los factores abióticos el hombre no puede modificarlos (temperatura, humedad, precipitación, suelo, viento, luz, longitud del día (p. 31-32).

3.5. El clima como factor fundamental para la producción de cultivos

El crecimiento de un cultivo es afectado por factores ambientales (precipitación pluvial, radiación solar y temperatura estacional) el crecimiento y el rendimiento de un cultivo, estará en función del clima en el que se desarrolle el cultivo, se considera también que el agua es el factor más importante de los tres (Alarcón, 2013, p. 33).

3.6. El cambio climático

Hay suficiente evidencia para expresar que el cambio climático es indiscutible, está sucediendo y la evidencia es clara, hoy en día podemos apreciar como la tierra se ha ido calentado paulatinamente y se pronostica que se irá calentando. Gutiérrez y Chavarría (2015), afirman que se trata de cambios de orden natural, pero se asocia con el impacto humano sobre el planeta.

El cambio climático es un fenómeno complejo que sólo puede ser observado mediante simulaciones computacionales, es una preocupación de las sociedades presentes, por las consecuencias que trae para el planeta en el presente y los gravísimos riesgos futuros (Gutiérrez y Chavarría, 2015, p. 17).

3.7. Variaciones del clima en Nicaragua

Nuestro país no está seguro ante el cambio climático por el calentamiento global, en los últimos años han aumentado los desastres naturales en Nicaragua (actividad volcánica, sismos, derrumbes, bajas y altas precipitaciones y huracanes), aunque Nicaragua no es un país industrializado no se puede desatender dicho problema, porque como habitantes de un mismo planeta nos envuelve su misma atmósfera y nos rodean mares comunes (Gutiérrez y Chavarría, 2015, p. 20-21).

3.8. Efecto de las altas temperaturas en el cultivo de frijol

Son muchos los autores que han realizado estudios sobre el efecto de la alta temperatura sobre el rendimiento en el cultivo de frijol, existen suficientes evidencias para demostrar que se requieren de variedades con mecanismos fisiológicos adaptados al cambio climático inminente.

Konsens et al. (1991), comprobaron que aumentos en la temperatura nocturna de 17 a 27°C en frijol, causan abscisión de botones florales, flores y vainas reduciendo la producción, tamaño de vainas igualmente las semillas por vaina.

Ofir et al. (1993), confirman altas temperaturas (día 32/27°C noche), disminuyen número de vainas

y semillas en frijol, causado por una mayor abscisión de los botones florales, flores y vainas jóvenes, fracasando la fertilización y desarrollo de las semillas.

De la misma forma Gross y Kigel (1994), concluyen que el efecto de las altas temperaturas en frijol resulta en menor viabilidad del polen y un rendimiento femenino deteriorado en una gran proporción de las flores.

Como expresa INIFAT (2016), temperaturas mayores de 30°C día y/o 20°C en la noche, en zonas tropicales en la noche limitan la producción de frijol, la temperatura adecuada para el desarrollo del tubo polínico y granos de polen en frijol corresponde a 25°C y el porcentaje de viabilidad del polen baja con temperaturas por encima de 35°C.

Según Lara (2015), el frijol crece en temperatura promedio de 15 a 27 °C, siendo la temperatura óptima de 25°C, pero altas temperaturas provocan esterilidad de flores e inhibición de floración y bajo rendimiento de semilla.

En el informe de INIFAT (2016, p.4-5) cita a Farlow et al. (1979), demostrando que temperaturas de 38,3°C la germinación in vitro de los granos de polen se reduce a cero.

De la misma manera Lara (2015), cita a (White, 1985), reportando que los mayores rendimientos de leguminosas se obtienen con temperaturas entre los 18 y 24°C; temperaturas mayores de 27°C producen caídas de flores y menos granos en la vaina.

Según Porch (2016), argumentó sobre los efectos negativos de las altas temperaturas en la etapa vegetativa sobre el frijol ocasionando quemaduras, senescencia, inhibición del crecimiento y reducción de biomasa.

3.9. Mecanismos de adaptación a altas temperaturas

Las plantas presentan diferentes adaptaciones fenológicas y morfológicas propias de la evolución para sobrevivir bajo elevadas temperaturas cambiando la orientación de las hojas, mayor transpiración para enfriar tejidos, o alterando lípidos en sus membranas (Wahid et. al., 2007).

Las plantas para tolerar el calor mantienen el balance hídrico y estabilidad de las células por medio de acumulación de ciertos osmolitos, además de generar sustancias que protegen a enzimas y proteínas de la desnaturalización provocada por calor (Babu y Devaraj, 2008).

3.10. Parámetros genéticos involucrados en la respuesta al calor

El rendimiento en frijol es la variable más afectada por el calor, para mejorarlo es necesario aumentar la varianza genética y la heredabilidad, sin embargo, estos parámetros se vuelven complejos cuando hay fuerte interacción ambiental (Porch y Hall, 2013).

La capacidad para producir vainas bajo estrés por calor es controlada por efectos poligénicos, de efecto dominante y heredabilidad estrecha con una significativa variabilidad genética y efectos citoplasmáticos (Dickson y Petzoldt, 1989).

Porch y Jahn (2001), en su investigación afirman que la tolerancia al calor en frijol común es un rasgo cuantitativo controlado por genética aditiva y dominante sujeta a efectos maternos y ambientales.

3.11. Parámetros fisiológicos involucrados en la respuesta al calor

3.11.1. Uso del agua y regulación de la temperatura

La variable más importante en altas temperaturas es el estado hídrico, cuando el agua es limitada las altas temperaturas afectan seriamente el cultivo (Wahid et. al., 2007).

En frijol, el estrés por altas temperaturas es parecido al estrés por sequía, debido a que mayor transpiración causada por el calor, provoca disminución en el potencial del agua perturbando procesos y cambios fisiológicos en la planta (Omae et. al., 2007).

3.11.2. Fotosíntesis

La tasa de asimilación de CO₂ disminuye por efecto de altas temperatura siendo el estroma de los cloroplastos el más alterado en su metabolismo y otras reacciones del fotosistema (Tofiño, et. al., 2007)

En ciertos estudios se ha observado que aun con suministro adecuado de agua, bajo condiciones de altas temperaturas las plantas se vieron incapaces de formar vainas (Barrera, 2016).

3.11.3. Crecimiento y desarrollo

El principal indicador del efecto del calor es el crecimiento y desarrollo de las plantas, viéndose reducido cuando se disminuye la fotosíntesis (Porch y hall, 2013).

En frijol común, se ha demostrado que incrementos de la temperatura afecta el desarrollo fenológico de la planta, principalmente en floración, este incremento en la temperatura afecta la producción de biomasa, estructuras reproductivas y formación de grano (Barrera, 2016).

3.11.4. Movilización de fotoasimilados

Altas temperaturas afectan el transporte y transferencia de asimilados en las rutas apoplásticas y simplásticas, en frijol común altas temperaturas afecta la translocación de fotosintatos (Omae et. al., 2007).

En frijol, mayores producciones de vainas requieren mayor movilización de fotosintatos hacia las vainas, las variedades susceptibles a altas temperaturas presentan menores contenidos de materia seca, indicando que la movilización de fotosintatos es crítica (Omae et. al., 2007).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El presente estudio se estableció en las áreas agrícolas de la Universidad Nacional Agraria en la sede de Juigalpa y en finca de productores del municipio de San Pedro de Lóvago en diferentes épocas del año.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE 2013), el municipio de Juigalpa se encuentra:

En el departamento de Chontales, se encuentra ubicado entre las coordenadas 12° 06' Latitud Norte y 85° 22' de Longitud Oeste y tiene una altitud de 130 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte: Con el municipio de San Francisco de Cuapa. Al Sur: Con el municipio de Acoyapa y el Lago de Nicaragua. Al Este: con los municipios de la Libertad y San Pedro de Lóvago. Al Oeste: Con el municipio de Comalapa. El municipio ocupa una extensión territorial de 726.75 km². Juigalpa está ubicada a 139 kilómetros de Managua capital de la República (p. 44).

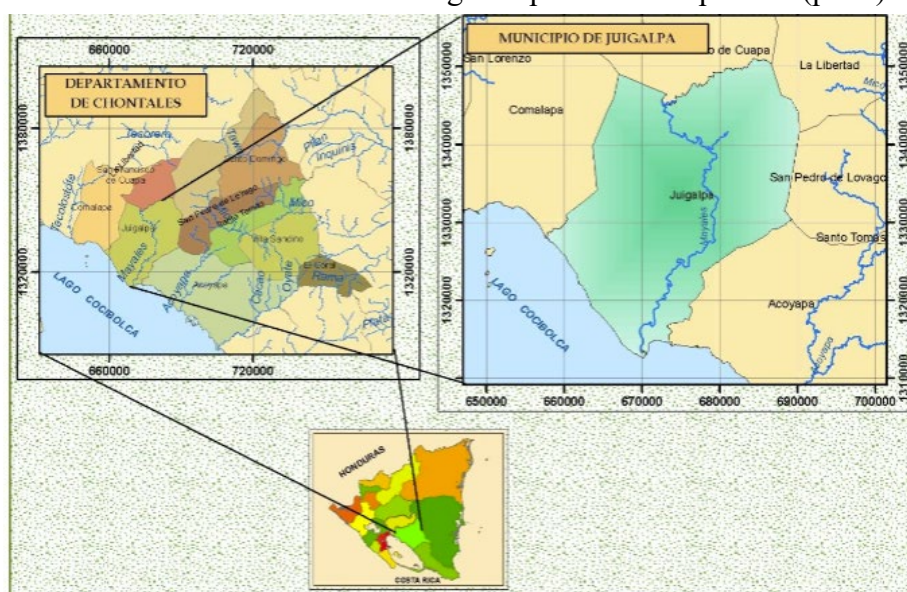


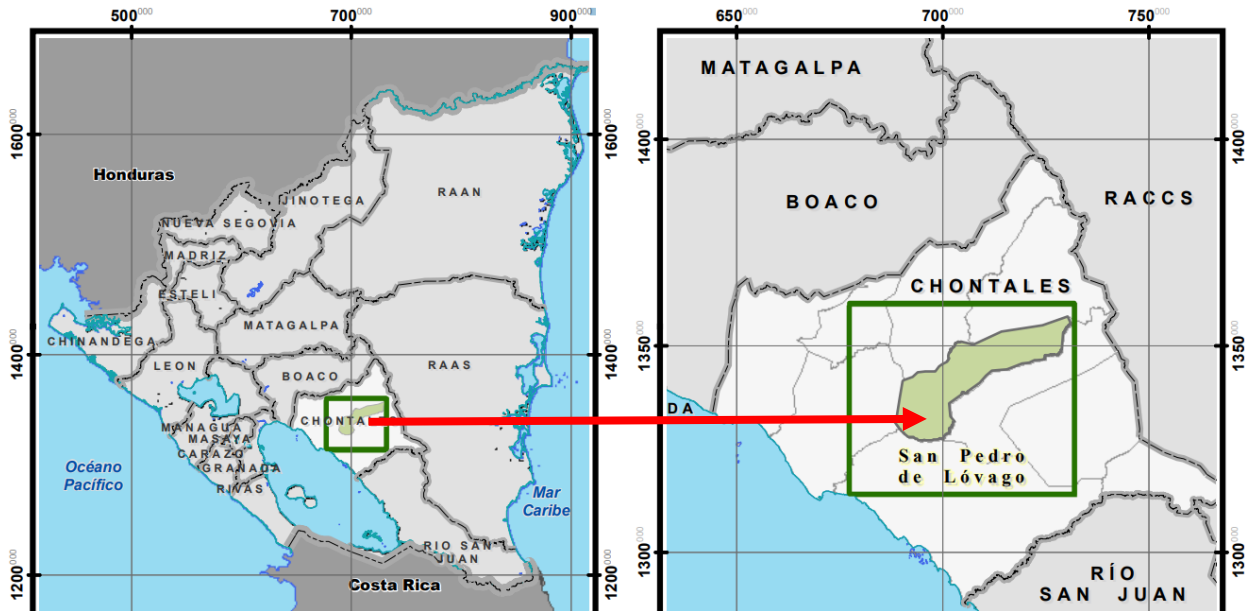
Figura 1. Ubicación de experimento (Fuente MTI, 2010)

De acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1998), el municipio de San Pedro de Lóvago se ubica:

Entre las coordenadas 12° 07' latitud norte y 85° 07' latitud oeste. Altitud promedio de 340 msnm. Limita al norte: Con los municipios de La Libertad y Santo Domingo. Al sur: Con los municipios de Santo Tomás y Acoyapa. Al este: Con el Municipio de Santo Tomás y al oeste: Con el

Municipio de Juigalpa. Su extensión territorial es de 466.50 km². San Pedro tiene una población de Total 7,477 habitantes, con una población urbana de 3,719 habitantes (p. 1).

Figura 2. Ubicación de experimento (Fuente MTI, 2019)



4.2. Clima

En el municipio de Juigalpa predomina el clima de sabana tropical; el clima es cálido y seco de acuerdo con la biblioteca de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL, 2001), expresa:

La temperatura media oscila entre los 25°C y 28°C; El viento es predominantemente en dirección Noreste a una velocidad de 2.2 a 3.6 m/seg. La humedad relativa promedio es de 76.7%, La evaporación mensual promedio es de 186.8 mm, siendo la mínima en el mes de marzo (132 mm) y la máxima en el mes de Abril (260 mm). La precipitación anual varía entre 1,000 y 1,500 mm/año. El periodo de lluvias varía de 5 a 7 meses.

En el municipio de san pedro de Lóvago el clima del municipio es semihúmedo de sabana tropical. La temperatura promedio anual oscila entre los 250 y 260 C. y su precipitación pluvial varía entre los 1,200 y 1,400 mm caracterizándose por una buena distribución de las lluvias todo el año (ENACAL, 2004, p.1).

4.3. Suelo

De acuerdo a la biblioteca de ENACAL (2001), desde el punto de vista de su textura, los suelos de Juigalpa presentan la siguiente clasificación:

Arcillosos Pesados:

Se ubican principalmente en la zona costera del municipio, aunque también se encuentran en el sureste del territorio. Se encuentran en las comarcas el Arrayán, puerto Díaz, parcialmente en el Cóbano, hato Grande, San Antonio, San Miguelito, San Esteban 1 y San Ramón. Cubren 33,173 hectáreas. Son suelos profundos (más de 100 cm), pobres o imperfectamente drenados, planos y con riesgos de inundación en algunos sectores (p. 1).

Arcillo-arenosos:

Es el tipo de suelo predominante en el municipio y se encuentra en todas las comarcas. Cubren 41,250 ha. Son suelos que van de profundos a medianamente profundos, biendrenados a medianamente drenados, con diferentes pendientes. En algunos sectores presentan efectos de erosión (p. 1).

Arcillosos a arcillo arenosos:

Se encuentran muy poco, sobre todo en sectores pequeñísimos de las comarcas San Esteban 1 y 2, San Francisco del Coyol y Santa Rosa de Amerrisque. Cubren solamente 470 ha. Son suelos medianamente superficiales (menos de 50 cm), con pendientes mayores de 30%. Son suelos erosionados y en algunos sectores presentan pedregosidad excesiva (p. 1).

Con el objetivo de describir el tipo de suelo de San Pedro de Lóvago, ENACAL (2004), indica que en la comarca del Juste predominan dos tipos de suelos:

Arcillosos Pesados: Son suelos profundos (más de 100 cm.), pobre o imperfectamente drenados, planos y con riesgos de inundación en algunos sectores. Arcilloso a arcilloso arenoso: Son suelos profundos, bien drenados a medianamente drenados, diferentes pendientes. En el sector de El Juste presentan efectos de erosión (p.7).

4.4. Hidrografía

Hidrográficamente Juigalpa está ubicado en la cuenca del río San Juan, a través del lago de Nicaragua; compartido por dos sub - cuencas: Acoyapa y Mayales; siendo la de mayor representación la del río Mayales, con un área de 950 km². La sub-cuencadel río Acoyapa tiene un área (en el territorio) de 66 km² (ENACAL, 2001, p. 1).

El municipio de San Pedro de Lóvago cuenta con muchos recursos hídricos entre ellos 27 ríos, 80 quebradas y 89 nacientes los cuales abastecen a todas las comunidades de la zona urbana y rural (ENACAL, 2004).

4.5. Periodo de inicio y periodo de finalización del ensayo

El trabajo experimental se inició en la segunda semana de septiembre del año 2019 con la preparación del terreno para posteriormente proceder a la siembra. Se realizaron 5 ciclos en total finalizando en el año 2021.

4.6. Factor Temperatura

En este estudio, el interés será evaluar el comportamiento de genotipos de frijol bajo condiciones de alta temperatura. La definición operativa de alta temperatura se tomó en base a lo expuesto por Porch (2001) el cual define que temperaturas mayores a los 27°C durante la noche y 32°C durante el día son perjudiciales para la producción de frijol. Por otro lado, se considera temperaturas óptimas aquellas que están en el rango de los 21°C a 24°C.

4.7. Manejo del experimento

En la preparación del suelo se utilizará labranza mínima, para el control de malezas antes de la siembra se utilizará el herbicida no selectivo de contacto Ráfaga (Paraquat) a razón de 100cc por bomba de 20 litros. La siembra se realizará de forma manual con espeque depositando de 2 a 3 granos por golpe. El marco de siembra a utilizar será de 0.5 m entre surco y 0.20 m entre planta. Posterior a la siembra el control de malezas se realizará de forma manual en las etapas críticas del cultivo y de forma química con los herbicidas selectivos para el control de malezas de hoja ancha Flex (25 g Fomesafen) y Fusilade (125 g Fluazifop) a razón de 25 cc y 40 cc por bomba de 20 litros. El manejo fitosanitario se hará en prefloración con el fungicida Amistar (25 g Azoxistrobina) a razón de 10 gramos por bomba de 20 litros. Durante la etapa vegetativa se aplicará el insecticida sistémico como Engeo (14.1 g Tiametoxam + 10.6 g Lambdaialotrina) a razón de 10 cc por bomba de 20 litros. La fertilización edáfica se realizará en los momentos más exigentes del cultivo con fertilizante completo a razón de 55 kg ha⁻¹ por parcela con la fórmula 15-15-15 y se aplicará Urea (N 46%) a razón de 55 kg ha⁻¹, la fertilización foliar mediante la aplicación de Triple 20 a razón de 1 kg ha⁻¹ y Bayfolan® Forte a razón de 1 litro ha⁻¹

4.8. Diseño experimental

Inicialmente para la primera etapa del ensayo se estableció una parcela con la variedad de frijol común “Polón criollo” siendo la unidad experimental de 830 m², se estableció un mínimo de 3,000 plantas, de las cuales se seleccionarán 200 plantas élites utilizando el método de mejoramiento selección individual, se tomó en cuenta el número de vainas por planta, cada planta se aporreó de forma individual.

La segunda etapa consistió en utilizar el método de mejoramiento prueba de progenie en el que las 200 plantas élites seleccionadas se evaluaron bajo condiciones de alta temperatura lo que permitió identificar 14 genotipos promisorios.

Durante la segunda etapa las 200 plantas élites se establecieron cada una en surcos de 5 metros, por cada diez surcos de las plantas elites se establecía un surco de la variedad criolla Polón más el genotipo mejorado MCN-43 proveniente de la escuela panamericana El Zamorano generado para tolerar los efectos del cambio climático entre ellos las altas temperaturas. De aquí en adelante el genotipo se identifica como Zamorano siendo estos el comparador, en total se establecieron 2 4 0 surcos, de estos se seleccionaron 14 surcos élites que tuvieron un incremento en el rendimiento respecto al testigo, durante esta etapa las variables tomadas fueron rendimiento (kg ha⁻¹), plantas cosechadas, temperatura nocturna (°C), rendimiento de forraje verde kg ha⁻¹.

En la tercera etapa se evaluaron los 14 genotipos seleccionados en tres ambientes, utilizando un diseño de bloques completos al azar en el cual la variedad Polón se utilizó como testigo y el genotipo Zamorano. Los ambientes donde se establecieron los ensayos fueron en la Sede Juigalpa época primera 2020, San Pedro de Lóvago primera 2020 y Sede Juigalpa riego 2021. Los genotipos se establecieron en bloques completos al azar para ello en cada bloque se establecieron parcelas 5 metros de largo y 1 metro de ancho conformadas por dos surcos de cada genotipo. La distancia entre golpe fue de 20 cm y entre surco 50 cm. Las variables que se registraron fueron: Rendimiento de grano (kg ha⁻¹), Peso de 100 granos (g), Numero de Vainas por Planta, Número de granos Por vaina, Plantas cosechadas, Rendimiento de forraje verde (kg ha⁻¹), Materia seca (kg ha⁻¹), Proteína Bruta (PB).

La cuarta etapa de este estudio consistió en analizar la interacción de los genotipos con diferentes ambientes tomando en cuenta que se contaba con datos de rendimiento de tres ensayos establecidos en la tercera etapa, se procedió a establecer dos más. El primero en la localidad de La palma

municipio de San Pedro de Lóvago época postrera 2020 y el segundo en el área agrícola de la Sede Juigalpa época primera 2021. El diseño utilizado para establecer los ensayos fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones con el mismo tamaño de parcelas y arreglos de siembra que se utilizaron en los ensayos de la tercera etapa. La variable que se tomó en estos ensayos fue únicamente Rendimiento de grano (kg ha^{-1})

4.9. Variables por medir

4.9.1. Primera etapa: selección individual

4.9.1.1. Numero de vainas por planta:

En esta etapa esta fue la variable que se tomó en cuenta para excluir el material que no cumplía con los requisitos para ser evaluado en el segundo ciclo. Se seleccionaron todas las plantas que como mínimo tuvieran 14 vainas por planta. Las plantas que sobrepasen el límite de igual forma tengan competencia se considerara material genético promisorio para fitomejoramiento y se utilizarán para evaluar su progenie.

4.9.2. Segunda etapa: de evaluación de progenie

4.9.2.1. Temperatura nocturna

Se registrará la temperatura nocturna a las 10 de la noche diariamente durante la etapa más crítica del estudio siendo la floración. Para su medición se utilizó un termómetro ambiental digital Vantage pro2 plus, inalámbrica – Davis.

4.9.2.2. Plantas cosechadas:

Se cosecharon todas las plantas de la parcela útil, posteriormente se procedió al conteo de las mismas para conocer en total de plantas que había.

4.9.2.3. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}):

Esta se obtendrá en base al área de la parcela útil de cada línea evaluada y se expresará al final en kilogramos por hectárea previo al ajuste del contenido de humedad de las semillas al 14%.

Para esto último se utilizará la ecuación propuesta por Aguirre y Peske (1988), descrita a continuación:

$$PI(100 - H_I) = PF(100 - H_F).$$

En donde:

PI = Peso Inicial del grano

H_I = Contenido inicial de humedad del grano

PF = Peso final del grano

H_F = Contenido final de Humedad del grano (14%)

4.9.2.4. Rendimiento de forraje verde

Esta se midió en las plantas cosechadas de la parcela útil de cada línea, se pesó el área útil utilizando una balanza electrónica de precisión y el resultado se extrapolo a kg ha^{-1} .

4.9.3. Tercera etapa: evaluación de genotipos seleccionados

4.9.3.1. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}):

Esta se obtendrá en base al área de la parcela útil de cada línea evaluada y se expresará al final en kilogramos por hectárea previo al ajuste del contenido de humedad de las semillas al 14%.

Para esto último se utilizará la ecuación propuesta por Aguirre y Peske (1988), descrita a continuación:

$$PI(100 - H_I) = PF(100 - H_F).$$

En donde:

PI = Peso inicial del grano

H_I = Contenido inicial de humedad del grano

PF = Peso final del grano

H_F = Contenido final de humedad del grano (14%)

4.9.3.2. Peso de 100 granos (g):

Se tomarán cinco repeticiones de 100 gramos cada una, después se registrará el peso de cada repetición y finalmente se calculará el promedio por genotipo. El peso de 100 semillas se ajustará al contenido de humedad del grano de 14% con la fórmula antes descrita.

4.9.3.3. Numero de vainas por planta:

Esta variable se registrará en una muestra de 10 plantas de la parcela en cada ciclo. Por cada planta se contará el número total de vainas. Posteriormente se sumará el total de vainas originarias de las 10 plantas y el valor se promediará.

4.9.3.4. Numero de granos por vaina

Se realizará un conteo en 10 vainas tomadas de forma aleatoria en la parcela. Por cada vaina se contará el número de granos bien formados, al final se sumará el número de granos por cada vaina y se dividirá entre 10 para así obtener el valor promedio del número de granos por vaina.

4.9.3.5. Rendimiento de forraje verde (kg ha⁻¹):

Esta se midió en las plantas cosechadas de la parcela útil de cada línea, se pesó el área útil utilizando una balanza electrónica de precisión y el resultado se extrapolo a kg ha⁻¹.

4.9.3.6. Materia seca (kg ha⁻¹):

Se tomó una muestra homogénea de forraje verde y se llevó al laboratorio para secarla al horno a 60 °C por 72 horas, para determinar el porcentaje de materia seca se utilizó la siguiente formula:

$$MS = \left(\frac{PF - PS}{PF} \right) \times 100$$

Donde:

PF: Peso fresco de la muestra

PS: Peso seco de la muestra

Aparte de las variables evaluadas anteriormente las muestras de biomasa seca que se obtuvieron fueron llevadas al laboratorio LAPSA (Laboratorio de Suelos y Agua) de la Universidad Nacional Agraria, donde se les realizó un análisis bromatológico que incluyó el % de Nitrógeno (N), este dato se multiplico por el factor “6.25” para convertirlo a % de Proteína Bruta.

4.9.3.7. Porcentaje de vainas mal fecundadas

Se tomaron 10 plantas al azar por repetición de cada genotipo evaluado, se contó el número total de vainas de cada planta y de ese total se contaron las vainas que presentaron un máximo de 3 granos las cuales se consideran mal fecundadas, luego se sumó el número total de vainas de las 10 plantas y el número total de vainas con un máximo de 3 granos, de estos datos determinamos el porcentaje de vainas mal fecundadas.

4.9.3.8. Temperatura nocturna:

Se registró la temperatura nocturna a las 6, 10 y 12 de la noche diariamente durante la etapa más crítica del estudio sienta la floración. Para su medición se utilizó una estación meteorológica inalámbrica la cual registra la temperatura cada media hora. La estación fue comprada por la Universidad Nacional Agraria marca Vantage pro2 plus, inalámbrica – Davis.

4.9.4. Cuarta Etapa: evaluación multiambientales de los genotipos evaluados

4.9.4.1. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}):

Esta se obtendrá en base al área de la parcela útil de cada línea evaluada y se expresará al final en kilogramos por hectárea previo al ajuste del contenido de humedad de las semillas al 14%.

Para esto último se utilizará la ecuación propuesta por Aguirre y Peske (1988), descrita a continuación:

$$PI(100 - H_I) = PF(100 - H_F).$$

En donde:

PI = Peso Inicial del grano

HI= Contenido inicial de humedad del grano

PF = Peso final del grano

HF = Contenido final de Humedad del grano (14%)

4.10. Procesamiento y análisis de datos

Con los datos obtenidos durante la segunda etapa o prueba de progenie se realizó un análisis de porcentaje utilizando Microsoft Excel.

A los datos obtenidos en la tercera etapa se realizaron análisis de normalidad y homogeneidad cuando estos cumplieron estos supuestos se procedió hacer el análisis de varianza para cada variable en estudio. Además, se realizó prueba de separación de medias utilizando la prueba DGC $\alpha = 0.05\%$. Se utilizó el programa estadístico InfoStat (2015).

En la cuarta etapa el análisis utilizado para determinar la interacción de los genotipos con el ambiente fue: Efecto de Interacción Multiplicativo y Efectos Principales Aditivos (AMMI) JMP versión 11.0 (SAS 2013).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Primera etapa: selección individual

Se estableció en la época de postrera del año 2019 en Juigalpa en un área de 830 m² con una población de 3000 plantas de la variedad criolla de frijol rojo Polón. En esta etapa se utilizó el método de selección individual. Por medio de este método se obtuvieron 200 plantas con un número de vainas sobresalientes al resto de la población tomando como referencia el mínimo de 14 vainas por plantas.

5.2. Segunda etapa: evaluación de progenie

La prueba de progenie se realizó con las 200 líneas seleccionadas de la selección individual bajo condiciones de alta temperatura. A continuación (Figura 3), se presenta las temperaturas nocturnas durante la etapa de floración y el rendimiento de los genotipos evaluados.

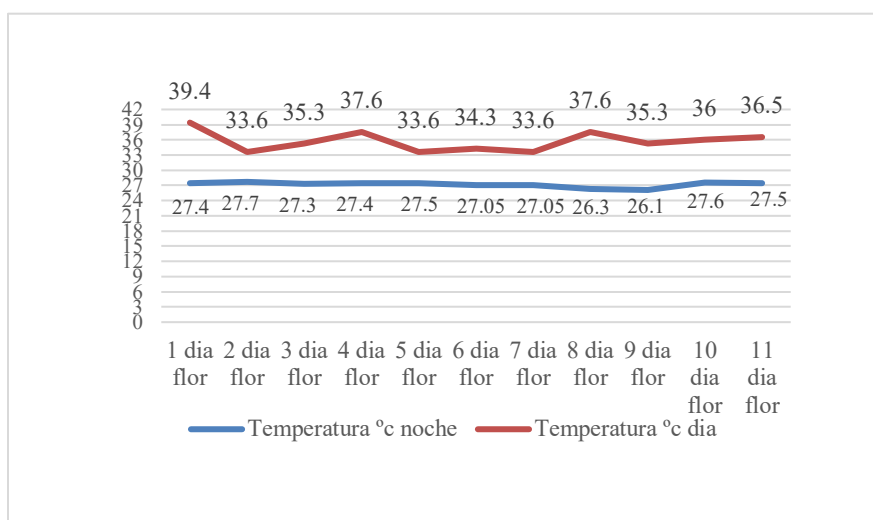


Figura 3. Temperatura durante el periodo crítico de floración en Juigalpa, riego 2020.

Al respecto Rosas et al. (2000) en su investigación afirma que la adaptación del frijol a zonas donde predominan temperaturas superiores a 27 °C es baja, siendo más susceptible en etapa reproductiva, muchos autores han confirmado que los efectos de altas temperaturas comienzan a temperaturas nocturnas de 27 °C. Durante esta etapa de evaluación se registró la temperatura (Figura 3) en el periodo crítico de floración cultivo siendo de 36 °C promedio durante el día y 27 °C promedio durante la noche lo cual fue idóneo para observar el comportamiento de las diferentes líneas de frijol.

Cuadro 1 Rendimiento de grano y forraje de los genotipos evaluados en la prueba de progenie bajo condiciones de alta temperatura, establecida en Juigalpa riego 2020.

Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹	Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹	Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹
1	402.6	5541.35	39	-	-	77	1906.6	12920.63
2	784.6	6769.23	40	-	-	78	1442.3	10080.14
3	655.7	9832.65	41	-	-	79	1785.1	11224.49
4	1196.2	14201.06	42	-	-	80	1973.0	12819.55
5	1289.6	14630.54	43	-	-	81	1955.5	13735.45
6	644.8	11379.31	44	-	-	82	2376.0	13602.68
7	1274.9	14561.90	45	-	-	83	2191.2	15360.71
8	901.5	8285.71	46	-	-	84	2154.2	13074.29
9	303.6	10775.51	47	-	-	PL	1905.9	13529.62
10	849.9	15337.14	48	357.9	8081.63	ZM	1502.8	11846.15
PL	772.7	9142.86	49	556.8	8031.75	87	1114.5	12619.05
ZM	540.9	771428.57	50	501.1	12571.43	88	1586.6	11104.76
13	554.3	10795.03	51	-	-	89	1947.1	13750.00
14	692.5	8671.96	PL	779.5	11523.81	90	2192.7	16478.76
15	447.3	6947.37	ZM	678.9	8820.28	91	2579.5	12813.19
16	653.8	9307.69	54	1085.7	9035.71	92	2080.3	15714.29
17	478.1	8348.21	55	1307.2	10111.80	93	1590.8	20936.97
18	-	-	56	1145.4	14517.01	94	1972.6	13434.17
19	-	-	57	881.9	10560.00	95	2524.1	15227.89
20	-	-	58	855.5	12648.08	96	2526.5	14642.86
21	-	-	59	981.3	10901.79	PL	2158.6	14591.84
22	-	-	60	1658.8	15443.35	ZM	1768.9	9865.08
23	-	-	61	623.0	7262.55	99	938.5	14450.31
24	-	-	62	1252.8	15714.29	100	1787.6	17089.29
25	-	-	ZM	1844.1	9428.57	101	1142.8	13264.71
26	-	-	PL	1927.3	15835.16	102	674.6	12080.36
27	-	-	65	1979.4	15714.29	103	1253.4	14041.47
28	-	-	66	1102.4	10371.43	104	875.1	4247.10
29	-	-	67	1440.7	11736.61	105	154.1860465	8098.90
30	-	-	68	1762.5	14630.54	106	128.4883721	12222.22
31	-	-	69	1194.9	17346.15	107	77.09302326	19642.86
32	-	-	70	1156.4	14445.05	108	102.7906977	8335.40
33	-	-	71	645.9	9341.27	PL	77.09302326	15714.29
34	-	-	72	911.1	12523.81	ZM	-	-
35	-	-	73	865.5	6714.29	111	308.372093	4985.22
36	-	-	74	762.6	6046.58	ZM	-	-
37	-	-	75	1279.4	7445.58	PL	308.372093	5997.62
38	-	-	76	1568.9	10146.94	114	848.0232558	6205.13

Cuadro 1. Continuación... Rendimiento de grano y forraje de los genotipos evaluados en la prueba de progenie bajo condiciones de alta temperatura, establecida en Juigalpa (2020).

Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹	Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹	Línea	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹	Rendimiento FV kg ha ⁻¹
115	591.05	7093.88	153	3038.58	12059.80	191	510.82	8184.52
116	462.56	6239.50	154	3192.94	18520.41	192	881.42	7391.53
117	359.77	5179.89	155	2370.23	13449.58	193	1421.72	12571.43
118	950.81	6634.92	156	3058.02	11179.59	194	636.32	9613.45
119	77.09	10646.43	157	3220.61	15109.89	195	1193.72	13559.18
120	133.63	9759.40	PL	2441.28	14411.15	196	1478.61	13936.09
121	1901.63	12116.54	ZM	2535.24	12227.68	197	696.34	10371.43
122	2184.30	11808.16	160	2307.90	13656.46	ZM	1067.18	8788.36
123	1721.74	10156.79	161	2923.75	14850.00	PL	694.62	8698.98
ZM	2837.02	13461.90	162	3182.30	18894.56	200	640.31	8322.75
PL	2549.83	17242.06	163	2380.46	12608.84	201	450.22	8053.57
126	2182.78	16043.19	164	2617.01	14142.86	202	1029.07	9802.72
127	2767.79	17364.29	165	2501.03	15176.69	203	1398.32	13403.36
128	2210.13	15302.72	166	3167.97	18718.49	204	1248.60	10004.76
129	1911.21	12897.57	167	2236.21	14605.04	205	560.27	8119.05
130	2347.71	13563.91	168	2962.63	17067.46	206	810.39	8593.75
131	2357.25	16250.87	169	2804.97	17973.21	207	1307.30	10301.59
132	2025.40	17043.96	PL	1699.88	17693.12	208	689.03	4509.32
133	2478.14	16333.33	ZM	1648.37	15132.28	209	650.64	8465.44
134	2024.55	14591.84	172	1370.95	13514.29	ZM	821.83	9166.67
135	2165.93	16456.35	173	1501.45	15428.57	PL	514.53	5657.14
ZM	2093.73	11179.59	174	1356.04	13710.71	212	1131.98	9302.86
PL	2965.26	15233.24	175	1406.99	12169.44	213	1023.22	9714.29
138	2807.69	17547.62	176	1207.81	12984.96	214	1131.98	9680.00
139	2617.17	12683.67	177	1130.04	13013.39	215	175.61	13571.43
140	3073.28	16139.00	178	1096.60	9972.53	216	977.77	10126.98
141	3107.43	16606.18	179	949.82	8662.02	217	729.75	8957.14
142	4092.05	21238.10	180	978.72	9835.98	218	450.73	5342.86
143	2556.43	13578.75	181	890.99	12178.57	219	673.16	6071.43
144	2092.32	12364.66	PL	927.21	9197.48	220	321.95	4164.29
145	2918.46	19151.79	ZM	386.34	14292.52	221	643.90	5185.71
146	1979.10	11928.57	184	721.16	7609.02	-	-	-
147	1435.15	8800.00	185	77.27	5971.43	-	-	-
148	1381.43	6857.14	ZM	721.16	12335.71	-	-	-
149	2231.11	11636.05	PL	592.38	6285.71	-	-	-
150	3257.81	15750.83	188	908.67	9376.19	-	-	-
151	3327.74	15568.11	189	746.92	11000.00	-	-	-
152	3242.98	16327.53	190	870.37	8940.89	-	-	-

Cuadro 2. Incremento del rendimiento de líneas élites sobre el testigo en la etapa de prueba de progenies bajo condiciones de alta temperatura.

Línea	Rendimiento	% Incremento sobre el testigo Polón
PL 82	2375.974	24.66
PL 140	3073.279384	25.88
PL 141	3107.426933	27.28
PL 142	4092.052502	61.61
PL 150	3257.810979	33.44
PL 151	3327.739995	36.31
PL 152	3242.98426	32.83
PL 153	3038.583018	24.46
PL 154	3192.936047	30.78
PL 156	3058.023256	25.26
PL 157	3220.610465	31.92
PL 161	2923.752907	19.76
PL 162	3182.295819	30.35
PL 166	3167.965116	29.76

Sobre el rendimiento de grano Marín y Cuadra (2015) enfatizan que es el resultado de la combinación de genotipo, el medio ambiente y el manejo agronómico del cultivo para que exprese su potencial productivo. En esta etapa el Cuadro 1. nos muestra los resultados de la prueba de progenie evaluadas en Juigalpa bajo condiciones de alta temperatura. El rendimiento promedio de grano del testigo variedad Polón fue de 1514.55 kg ha⁻¹ y de la variedad Zamorano (MCN-43), presentó un promedio de 1078.5 kg ha⁻¹. Se identificaron 14 líneas que tuvieron un incremento en rendimiento en comparación al testigo más cercano bajo las mismas condiciones de alta temperatura (Cuadro 2). Se destaca el genotipo PL142 con 61% de incremento sobre la variedad Polón la cual fue utilizada como testigo. Se debe mencionar que para las líneas que no tienen dato es porque no produjeron grano, por lo tanto no se tomaron en cuenta en producción de grano y forraje.

En cuanto a la producción de forraje de los genotipos Reta et al. (2013) afirma que las leguminosas forrajeras poseen mejor calidad que las gramíneas, esto debido a su menor contenido de fibras y mayor contenido de proteína. Por lo tanto, utilizar leguminosas para producir forraje de calidad puede ser una alternativa importante en Nicaragua. Las leguminosas contienen dos veces más proteína que los cereales siendo mejores que los cereales como fuente de aminoácidos esenciales isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina y valina (Avalos, 2001). En la etapa de evaluación de progenie se obtuvieron distintos resultados para el rendimiento de forraje verde por hectárea (Cuadro 2), de las líneas elites el mayor rendimiento lo presentó PL 142 con 21,238.10 kg ha⁻¹, seguido de PL 162 con 18,894.56 kg ha⁻¹ superando al testigo Polón en 39 y 31 % respectivamente.

5.3 Tercera etapa: evaluación de genotipos bajo condiciones favorables y alta temperatura

Cuadro 3. Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa Primera, 2020 condiciones favorables.

Genotipos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vaina/planta	Granos/Vaina	Peso de 100 granos
PL 82	1757.70 ^a	15.67 ^a	5.03 ^{ab}	22.92 ^{ab}
PL 157	1659.50 ^a	15.37 ^a	5.37 ^{ab}	23.84 ^{ab}
PL 162	1651.35 ^a	15.47 ^a	5.23 ^{ab}	23.19 ^{ab}
PL 150	1644.45 ^a	16.03 ^a	5.1 ^{ab}	24.7 ^{ab}
PL 142	1575.81 ^a	16.9 ^a	5.17 ^{ab}	23.56 ^{ab}
POLÓN	1441.97 ^a	14.53 ^a	4.93 ^b	22.06 ^b
PL 154	1428.49 ^a	14.43 ^a	4.9 ^b	23.26 ^{ab}
PL 166	1425.05 ^a	15.6 ^a	4.6 ^b	23.89 ^{ab}
PL 141	1410.32 ^a	13.57 ^{ab}	4.63 ^b	22.63 ^b
PL 156	1389.22 ^a	14.93 ^a	5.4 ^{ab}	24 ^{ab}
PL 153	1333.47 ^{ab}	14.7 ^a	4.47 ^b	22.53 ^b
PL 140	1328.26 ^{ab}	13.43 ^{ab}	5 ^{ab}	22.76 ^b
PL 161	1290.22 ^{ab}	16.6 ^a	4.73 ^b	23.67 ^{ab}
PL 151	1274.79 ^{ab}	15.7 ^a	5.23 ^{ab}	22.93 ^{ab}
PL 152	1211.83 ^{ab}	14.87 ^a	4.4 ^b	22.32 ^b
Zamorano	786.67 ^b	8 ^b	6 ^a	27.33 ^a

Cuadro 4. Variables asociadas a la producción de forraje del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa Primera, 2020 condiciones favorables.

Genotipos	Plantas cosechadas	Forraje Verde (kg ha ⁻¹)	Materia seca (kg ha ⁻¹)
PL 82	172666.67 ^a	15781.11 ^a	3882.2 ^a
PL 157	171333.33 ^a	16300 ^a	3539.4 ^a
PL 162	170666.67 ^a	20666.67 ^a	4885.2 ^a
PL 150	184000 ^a	14700 ^a	3480.6 ^a
PL 142	176000 ^a	16100 ^a	3874.4 ^a
POLÓN	180000 ^a	15000 ^a	3110.4 ^a
PL 154	152000 ^a	14833.33 ^a	3589.8 ^a
PL 166	176666.67 ^a	16900 ^a	3856.2 ^a
PL 141	174666.67 ^a	16200 ^a	3933.4 ^a
PL 156	176666.67 ^a	14733.33 ^a	3748.8 ^a
PL 153	164666.67 ^a	15166.67 ^a	3185.6 ^a
PL 140	185333.33 ^a	14100 ^a	3174.8 ^a
PL 161	176000 ^a	14833 ^a	4064.2 ^a
PL 151	173333.33 ^a	16000 ^a	3336.6 ^a
PL 152	179333.33 ^a	15300 ^a	3069.8 ^a
Zamorano	180000 ^a	18466.67 ^a	3874.8 ^a

Cuadro 5. Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad La Palma, San Pedro de Lóvago, Primera, 2020 condiciones favorables .

Genotipos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vainas Por Planta	Granos/Vaina	Peso de 100 Granos
PL 142	1464.57 ^a	15.2 ^a	6.07 ^a	16.43 ^a
PL 82	1432.4 ^a	13.3 ^a	5.93 ^a	16.47 ^a
PL 166	1421.4 ^a	14.9 ^a	5.63 ^a	16.6 ^a
PL 152	1401.37 ^a	14.17 ^a	6 ^a	16.63 ^a
PL 151	1395.07 ^a	14.93 ^a	5.5 ^a	15.47 ^a
PL 150	1389.4 ^a	15.4 ^a	6.2 ^a	15.97 ^a
PL 154	1353.53 ^a	15.73 ^a	6 ^a	15.83 ^a
PL 140	1348.17 ^a	13.3 ^a	6.07 ^a	15.67 ^a
PL 141	1338.27 ^a	14.87 ^a	5.47 ^a	16.17 ^a
PL 156	1316 ^a	14.53 ^a	6.13 ^a	15.63 ^a
PL 161	1244.5 ^b	15.7 ^a	6.1 ^a	17.4 ^a
POLÓN	1221.03 ^b	16.57 ^a	6.07 ^a	15.7 ^a
PL 153	1204.73 ^b	13.97 ^a	6.4 ^a	16.57 ^a
PL 162	1203.53 ^b	13.8 ^a	5.87 ^a	16.47 ^a
PL 157	1136.07 ^b	15.47 ^a	6.07 ^a	17.17 ^a
Zamorano	1106.87 ^b	7.43 ^a	5.43 ^a	17.47 ^a

Cuadro 6. Variables asociadas a la producción de forraje del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad La Palma, San Pedro de Lóvago Primera, 2020 condiciones favorable.

Genotipos	Plantas Cosechadas	Forraje Verde (kg ha ⁻¹)	Materia seca (kg ha ⁻¹)	% Proteína bruta (6.25)
PL 142	170666.67 ^a	27550 ^c	4814 ^b	22.06
PL 82	180666.67 ^a	21460 ^e	4359 ^c	11.38
PL 166	171333.33 ^a	39440 ^a	5646 ^a	18.50
PL 152	170000 ^a	27840 ^c	4930 ^b	15.25
PL 151	171333.33 ^a	13630 ^f	2737 ^f	12.69
PL 150	172000 ^a	14285 ^f	2790 ^f	12.00
PL 154	180000 ^a	25560 ^d	4165 ^d	18.19
PL 140	177333.33 ^a	20335 ^e	4055 ^d	12.69
PL 141	173333.33 ^a	15950 ^f	3248 ^e	12.38
PL 156	175333.33 ^a	28035 ^c	4330 ^c	17.88
PL 161	178666.67 ^a	25230 ^d	4350 ^c	11.69
POLÓN	168000 ^a	21985 ^e	3835 ^d	16.56
PL 153	172666.67 ^a	34800 ^b	5646 ^a	19.19
PL 162	184666.67 ^a	15950 ^f	3248 ^e	12.38
PL 157	165333.33 ^a	24940 ^d	4466 ^c	22.06
Zamorano	166000 ^a	23200 ^e	4535 ^c	16.88

Con el objetivo de obtener resultados más contundentes durante la etapa de evaluación de genotipos promisorios se establecieron dos ensayos en la época de primera 2020 bajo condiciones favorables de temperatura. El primero en Juigalpa, Chontales en la Universidad Nacional Agraria. Un segundo ensayo se estableció en la comunidad de La Palma, Municipio de San Pedro de Lóvago, Chontales, bajo condiciones de campo a expensas de las precipitaciones que se presentaron. Los cuadros del 3 al 6 muestran las medias de las variables de Rendimiento de grano kg ha^{-1} , Vainas Por Planta, Granos Vaina $^{-1}$, Peso de 100 Granos, Plantas cosechadas, Forraje (kg ha^{-1}), Materia seca (kg ha^{-1}) y % de proteína.

A continuación, se analiza las variables en estudio:

5.3.1. Vainas Por Planta

El número de vainas por planta siempre se asocia con el rendimiento y disminuye a mayor densidad de siembra, estudios afirman que esta variable está influenciada por la competencia, mayor número de vainas por planta se interpreta como capacidad competitiva (Solis, 2005, p. 19).

Los resultados obtenidos en la evaluación de 16 genotipos sometidos en dos diferentes ambientes muestran que el comportamiento de los genotipos se ve influenciado por el ambiente ya que los valores promedios de la variable vainas por planta hubo diferencias significativas entre genotipos en la localidad de Juigalpa, Chontales (Cuadro 3), las líneas que mostraron número de vainas por planta fueron PL 142 (16.9) y PL 164 (16.6). En la comunidad de la Palma (Cuadro 5) el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas esto está directamente relacionado a la interacción del genotipo con el ambiente, el ambiente influyó en la demostración del potencial genético de la planta, la línea que presentó el valor más alto fue la población de frijol original “Polón” con 16.57.

5.3.2. Granos por Vaina $^{-1}$

Desde la posición de Lopez y Marín (2004). El número de granos por vaina es una característica genética propia de una variedad, poco alterable a condiciones ambientales, es heredable y se toma un indicador de la poca influencia que ejerce el ambiente, cuyo valor varía de 3.1 a 6.5

No hubo diferencias estadísticas entre los genotipos en número de granos por vaina bajo condiciones de La Palma no así para la localidad de Juigalpa en el que sí se encontraron diferencias estadísticas, esto difiere a lo reportado por Lopez y Marín (2004). En Juigalpa el genotipo que presentó mayor número de granos por vaina fue Zamorano (6) y el menor PL 154 (4.4) (Cuadro

3) y en la comunidad de la Palma el genotipo que presentó mayor número de granos por vaina fue PL 153 (6.4) y el menor Zamorano (5.43) (Cuadro 5). Con base en la investigación de Lopez y Marín (2004), la producción de granos es de gran heredabilidad, no obstante no debe tomarse como dictatorial, este carácter se ve influenciado por diferentes circunstancias como las enfermedades que afecten la vaina y por consiguiente el grano.

5.3.3. Peso de 100 Granos

A juicio de Solis Puerto (2005), el rendimiento de grano resulta de inconstantes factores biológicos y ambientales que al interactuar su efecto se refleja en producción por hectárea, además que demuestra la facultad de translocación de nutrimentos acumulados por la planta. El peso de 100 granos puede variar de 12.31 y 30.25 g (Lopez y Marín, 2004, p. 24).

Peralta (2018), señala que el peso de 100 granos es un carácter que determinado por el tamaño de granos simultáneamente determinado con el largo grueso y densidad del mismo, su valor puede variar de 23.91 a 21.51 g (p. 27).

En la localidad de Juigalpa se encontraron diferencias estadísticas para la variable peso de 100 granos (Cuadro 3) el genotipo que presentó mayor peso de 100 granos fue PL 157 (23.84 g) y el menor fue la población original “Polón” (22.06 g). En la localidad de la Palma no se encontraron diferencias significativas para esta variable (Cuadro 5) el genotipo que presentó mayor peso de 100 granos fue Zamorano (17.47 g) y el menor Polón (15.4 g), esto se puede correlacionar a la interacción de la planta y el ambiente.

5.3.4. Rendimiento (kg ha⁻¹)

Pese a la importancia del frijol en Centroamérica, la utilidad de este rubro se caracteriza por tener niveles de rendimiento y productividad bajos por hectárea cultivada; siendo visiblemente un efecto del cambio climático en Nicaragua (Solis Espinoza, 2017, p 20).

El rendimiento de grano en frijol es un carácter cuantitativo el cual depende de diversos factores e interacciones dicho desde la posición de Peralta (2018) el rendimiento del frijol está en función de características anatómicas y morfológicas, en relación con el número de vainas y el peso de grano, así mismo el rendimiento depende del ambiente, manejo y genética (p. 28).

En este estudio el principal criterio de selección es el rendimiento de grano, de acuerdo con Jarquín et al. (2013), afirman que el rendimiento refleja todo el proceso fisiológico que el cultivo tuvo que

pasar ante situaciones de falta de agua, plagas y suelos pobres.

Sobre el rendimiento promedio de frijol a nivel nacional en Nicaragua durante el año 2014 fue de 633.17 kg ha⁻¹ (Solis, 2017, p 21), el cual equivale a 10 quintales por manzana.

Los rendimientos frecuentemente varían entre cultivares teniendo en cuenta a Jarquín et al., (2013, p.38) reporta variaciones de 904 kg ha⁻¹ a 1,511 kg ha⁻¹.

En la localidad de Juigalpa las variaciones medias de rendimiento en kg ha⁻¹ de los genotipos de frijol rojo evaluadas mostraron diferencias estadísticas entre los genotipos (Cuadro 3), las líneas que mostraron mejor rendimiento de grano fueron PL 82 (1757.70 kg ha⁻¹), PL 157 (1659.50 kg ha⁻¹), PL 162 (1651.35 kg ha⁻¹), PL 150 (1644.45 kg ha⁻¹) y la línea que presentó el rendimiento más bajo fue PL 152 (1211.83 kg ha⁻¹). El resto de líneas evaluadas presentaron rendimientos intermedios.

En la localidad de La Palma las variaciones medias de rendimiento en kg ha⁻¹ de los genotipos de frijol rojo evaluadas mostraron diferencias estadísticas entre los genotipos (Cuadro 5), las líneas que mostraron mejor rendimiento de grano fueron PL 142 (1464.57 kg ha⁻¹), PL 82 (1432.4 kg ha⁻¹), PL 166 (1421.4 kg ha⁻¹), PL 152 (1401.37 kg ha⁻¹) y la línea que presento el rendimiento más bajo fue PL 157 (1136.07 kg ha⁻¹). El resto de líneas evaluadas dio rendimientos intermedios.

Al comparar los rendimientos promedios más bajos obtenidos en las 14 poblaciones criollas de frijol rojo estudiadas estos sobrepasan el promedio nacional del 2014, en el caso de la localidad de Juigalpa en 91.4% (PL 152) y en la comunidad de la palma (PL 157), con 79.4%. Estos datos nos indican que las líneas originarias de la variedad de frijol criolla nombrada Polón presentan rendimientos que superan al promedio nacional.

5.3.5 Plantas cosechadas

Para plantas cosechadas, el análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas entre las líneas evaluados en las dos localidades en donde se realizó etapa evaluativa (Tabla 4 y 6). Este resultado nos indica que el número de plantas cosechadas no influyó en la diferencia del rendimiento expresado por cada una de las líneas evaluadas.

5.3.6. Forraje (kg ha⁻¹)

Como señala Calero et al. (2018) el frijol como forraje verde es una excelente alternativa, muy apetecido por el ganado, preferiblemente cultivarlo con soya y sorgo para obtener mayor forraje y más equilibrado en nutrientes, incluso puede utilizarse la paja seca y ensilada (p. 4).

Al respecto Amador y Rojas (2002), reportan rendimiento de materia verde en frijol gandul de

11,173 kg ha⁻¹. El análisis de la varianza para la variable producción de forraje verde kg ha⁻¹, no mostró diferencias significativas en la localidad de Juigalpa (Cuadro 4), siendo los genotipos con mayor forraje el PL 162 (20,666.67 kg ha⁻¹), PL 166 (16,900 kg ha⁻¹), PL 157 (16,300 kg ha⁻¹), así mismo el genotipo PL 140 (14100 kg ha⁻¹) que presentó el valor más bajo. En la localidad de la Palma se encontraron diferencias estadísticas en la producción de forraje kg ha⁻¹ (Cuadro 6), los genotipos que presentaron valores más altos fueron PL 166 (39440 kg ha⁻¹), PL 153 (34800 kg ha⁻¹), PL 156 (28035 kg ha⁻¹) y el que presentó el valor más bajo fue PL 151 (4466 kg ha⁻¹). En contraste con la población original “Polón” los genotipos presentaron incrementos en 79, 58 y 28 % para esta variable. La línea PL 166 destacó en ambos ambientes.

5.3.7. Materia seca (kg MS ha⁻¹)

Reta et al. (2013), mencionan que algunas especies de frijol forrajero producen 2,400 y 13,900 kg ha⁻¹ de materia seca y de 19 a 24% de proteína cruda (p. 660). Sobre materia seca Otal et al. (2010) en su artículo describen variedades de leguminosas que alcanzan rendimientos promedios en diferentes épocas del año que varían de 924 kg MS ha⁻¹ con 23.01% de proteína y de 2,880 kg MS ha⁻¹ con 23% de proteína (p. 1). Gonzales y Chow (2008), en su trabajo de investigación reportan leguminosas que rinden 3,717.02 kg MS ha⁻¹ (*S. guianensis* 2243) y 1486.38 kg MS ha⁻¹ (*C. plumieri*) (p. 66).

En este estudio para la variable de materia seca (Cuadro 4), el análisis de varianza nos reflejó que no hubo diferencias estadísticas entre las líneas evaluadas bajo condiciones de Juigalpa las líneas que presentaron mayor materia seca fueron PL 162 (4885.2 kg MS ha⁻¹), PL 166 (3856.2 kg MS ha⁻¹), PL 157 (3539.4 kg MS ha⁻¹) y menor rendimiento PL 140 (3174.8 kg MS ha⁻¹)

En este estudio en la localidad de La Palma el análisis de varianza para la variable de materia seca (Cuadro 6), nos reflejó que hubo diferencia estadística entre los genotipos, las que presentaron mayor cantidad de biomasa seca fueron PL 166, PL 153, PL 152 con 5646 kg MS ha⁻¹, 5646 kg MS ha⁻¹ y 4930 kg MS ha⁻¹ respectivamente. La línea que presentó el menor valor fue PL 151 (2737 kg MS ha⁻¹). Se debe notar que la línea PL 166 presentó valores altos en ambas localidades.

5.3.8. Proteína Bruta

El análisis bromatológico a las líneas establecidas en el ensayo de la localidad de la Palma (Primera 2021), nos muestra que las líneas que presentan el mayor contenido de Proteína Bruta (Cuadro 6) fueron PL 142 (22.06%), PL 157 (22.06%) y PL 153 (19.19%), La línea que presentó el valor más bajo fue PL 82 (11.38%).

Cuadro 7. Variables asociadas al rendimiento del ensayo de líneas de frijol tolerantes a alta temperatura localidad Sede Juigalpa, 2021 condiciones de riego y alta temperatura.

Línea	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vainas por planta	Granos por vaina	% Vainas mal fecundadas
PL 154	1545.01 ^a	14.66 ^a	4.48 ^a	32.13 ^a
PL 156	1481.53 ^a	14.62 ^a	4.54 ^a	41.46 ^a
PL 161	1418.53 ^a	15.22 ^a	4.68 ^a	41.86 ^a
PL 142	1415.38 ^a	15.34 ^a	4.8 ^a	39.53 ^a
POLON	1346.75 ^a	13.44 ^a	4.64 ^a	43.02 ^a
PL 82	1338.56 ^a	15.02 ^a	4.44 ^a	42.82 ^a
PL 152	1336.68 ^a	15.62 ^a	4.38 ^a	47.1 ^a
PL 162	1279.43 ^a	15.14 ^a	4.46 ^a	40.95 ^a
PL 157	1258.95 ^a	15.2 ^a	4.5 ^a	43.28 ^a
PL 151	1247.39 ^a	14.78 ^a	4.32 ^a	34.38 ^a
PL 166	1207.48 ^a	13.96 ^a	4.42 ^a	40.19 ^a
PL 150	1163.28 ^a	13.16 ^a	4.06 ^a	43.26 ^a
ZAMORANO	1057.77 ^b	11.66 ^a	4.22 ^a	44.79 ^a
PL 140	1002.27 ^b	13.16 ^a	4.04 ^a	49.73 ^a
PL 153	965.74 ^b	13.04 ^a	4.12 ^a	49.14 ^a
PL 141	920.51 ^b	13.84 ^a	4.18 ^a	47.78 ^a

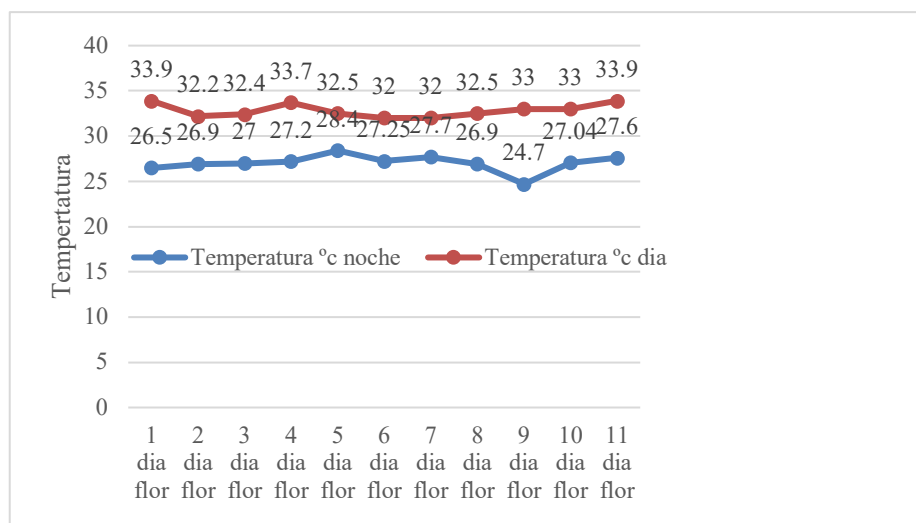


Figura 4. Temperatura ensayo Juigalpa riego febrero abril 2021.

En su trabajo Barrios et al. (2011) reafirman que altas temperaturas en frijol reducen la fertilidad del polen, crecimiento del tubo polínico, fertilización del ovario, acelera el metabolismo de la planta, acortan el tiempo de producción de flores, vainas y el aborto de las mismas (2011, p. 133). Durante el transcurso de esta etapa se registró la temperatura diurna y nocturna (Figura 3) en la localidad de Juigalpa en el mes de abril año 2021, específicamente en los días de floración 1-11,

durante el día la temperatura promedio fue de 32.8 °C y durante la noche la temperatura promedio fue de 27 °C, este ambiente fue el apropiado para la evaluación del comportamiento de las líneas de frijol frente a situaciones de altas temperaturas.

5.3.9. Rendimiento kg ha⁻¹

Para confirmar la tolerancia de los genotipos a condiciones de alta temperatura se estableció el ensayo el 26 de febrero del 2021 con el fin que la floración coincidiera con los días que presentan temperaturas nocturnas de 27 °C. A continuación, se hace un análisis del comportamiento de los genotipos bajo altas temperaturas nocturnas.

Dicho con palabras de Sánchez (2015), el rendimiento obtenido es el resultado de la combinación del genotipo, el medio ambiente, manejo adecuado y efectivo que hacia el cultivo, para que desarrolle su potencial genético de producción, en frijol la estabilidad y el potencial de rendimiento son características determinados por genes diferentes (p. 22).

Rodríguez y Gamarra (2016), en su trabajo evaluaron 24 líneas de frijol común, las que presentaron tolerancias a altas temperaturas fueron las líneas “SJC 730-79”, “FBN 1211-66” y “tepari Tep 22 (*P. acutifolius*), obteniendo rendimientos promedios correspondientes a 2032 kg ha⁻¹, 1787 kg ha⁻¹ y 2127 kg ha⁻¹. Rosas et al. (2000), menciona que las líneas de frijol PTC 9551-2, PTC 9551-33A, PTC 9555-5, PRF 9653-16B-3 y PRF 9657-53-5, presentan tolerancia a altas temperaturas mostrando rendimientos de 1980 kg ha⁻¹, 1770 kg ha⁻¹, 1830 kg ha⁻¹, 1720 kg ha⁻¹ y 1930 kg ha⁻¹. En el trabajo de investigación realizado por Rosas (2015), en el que evalúa 120 líneas con el objetivo de encontrar variedades tolerantes a altas temperaturas, usando como testigo una variedad muy utilizada por productores nicaragüenses INTA ROJO (Amadeus 77), el cual no presentó tolerancia con rendimientos promedios de 683 kg ha⁻¹, las líneas que si presentaron tolerancia entre ellas MHN 322-49, Beniquez, USMR 20, SB-DT1, BRT 103-182, IBC 301-204 (En Nicaragua liberada como “INTA CENTRO SUR”), SEN 52, con rendimientos de 1500 kg ha⁻¹, 1414 kg ha⁻¹, 900 kg ha⁻¹, 959 kg ha⁻¹, 965 kg ha⁻¹, 750 kg ha⁻¹, 600 kg ha⁻¹. De igual manera se evaluaron variedades de frijol muy utilizadas en Nicaragua BF-81 (INTA PRODUCTIVO SEQUIA), SX14825-7-1 (INTA FUERTE SEQUIA), dichas variedades no producen bajo condiciones de altas temperaturas (p. 13). Rosas (2015), menciona que la variedad IBC 301-204 (INTA Centro Sur), se liberó en América Central y el Caribe como material genético tolerante a altas temperaturas (p. 17). En la investigación de Flores, (comunicación personal, 22 de mayo de 2022) realizado en la Comarca El Juste, San Pedro de Lóvago, Chontales, Nicaragua, utilizando como testigo la

variedad INTA Centro Sur este presentó buenos rendimientos bajo condiciones de temperatura moderada.

En estas condiciones de alta temperatura las líneas de frijol evaluadas mostraron diferencias estadísticas entre las poblaciones para la variable de rendimiento (Cuadro 7), las líneas que mostraron mejor rendimiento de grano fueron PL 154 (1545.01 kg ha⁻¹), PL 156 (1481.53 kg ha⁻¹) y PL 161 (1418.53 kg ha⁻¹). Se debe destacar el genotipo PL 142 que anteriormente presentó buenos rendimientos en condiciones de temperatura favorable en Juigalpa y La Palma primera 2020 superó al testigo (Cuadro 3 y 5) bajo estas condiciones igualmente superó al testigo. El genotipo que mostró menor rendimiento bajo altas temperatura fue PL 141 (920.51 kg ha⁻¹); siendo aún superior al rendimiento promedio nacional en Nicaragua (633.17 kg ha⁻¹) (Solis Espinoza, 2017, p 21). La variedad Zamorano (MCN 43), el cual es una línea con tolerancia a alta temperatura, no supera en rendimiento de grano en ningún ambiente ni época a la línea original tomada como testigo (Cuadro 3, 5 y 7).

5.3.10. Vainas por planta

Teniendo en cuenta a Lopez y Marín (2004), esta variable es un carácter cuantitativo que difiere entre las variedades y es muy influenciado por el ambiente (p. 20). De la misma forma Sánchez Mondragón (2015), ratifica que dentro de la misma variedad se pueden encontrar diferencias para la variable vainas por planta. El Cuadro 7. nos muestra los genotipos evaluados con respecto a la variable vaina por planta, resultaron estadísticamente similares, los genotipos que presentaron mayor número de vainas fueron PL 152 (15.32), PL 142 (15.34) y PL 161 (15.22), el genotipo que presentó el valor más bajo fue PL 153 (13.04). Estos resultados son similares a los reportados por Diaz y Pérez (2021), indican que el progenitor de estos genotipos alcanza hasta 15.9 vainas por planta (p. 31.).

5.3.11. Granos por vaina

El número de granos por vainas siempre se asocia con el rendimiento, es una característica genética propia de cada variedad que varía poco con las condiciones ambientales (Sánchez Mondragón, 2015, p. 17). Los genotipos no mostraron diferencias significativas en cuanto a su número de granos por vaina (Tabla 7), esta variable varió de 4.8 (PL 142) a 4.04 (PL 140) granos por vaina. Los resultados de Diaz y Pérez (2021), revelan que el progenitor de los genotipos alcanza 6.2 granos por vainas lo que indica que los genotipos fueron afectados en su número de granos por vaina por el efecto de la alta temperatura, Barrios et al. (2011), sostiene que efecto de las altas

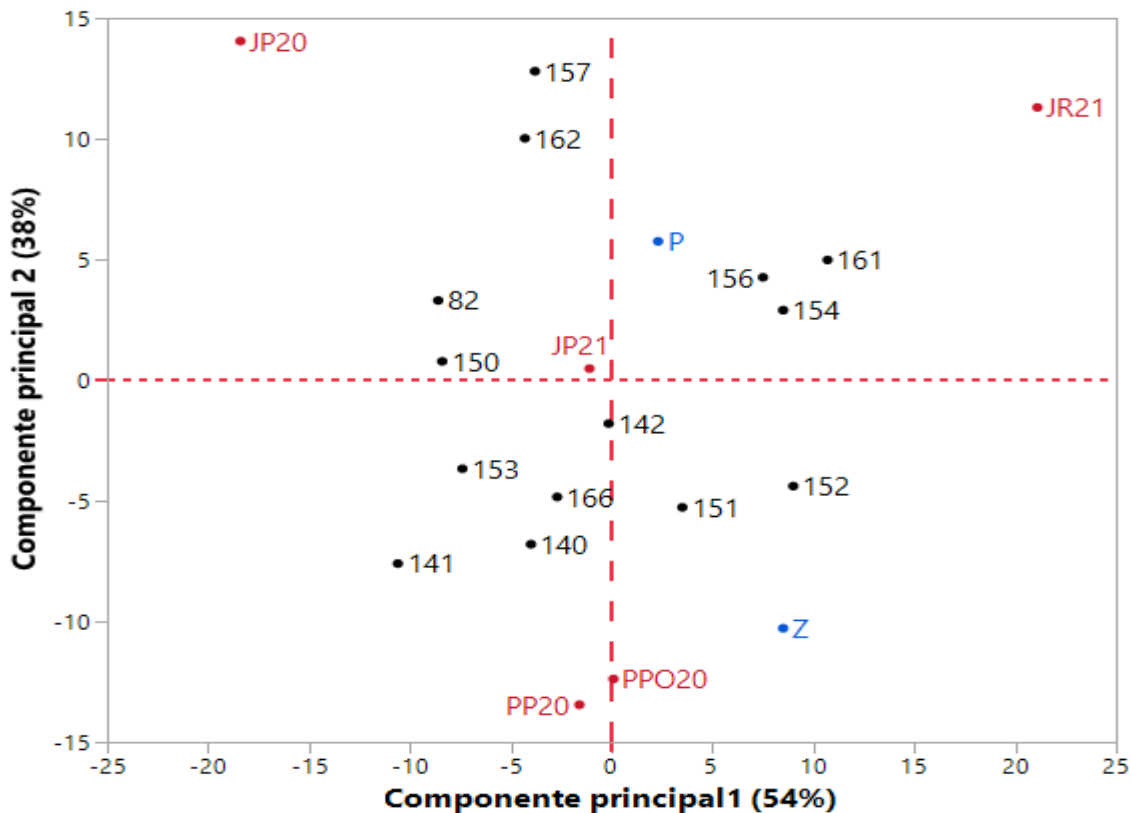
temperaturas nocturnas en frijol provoca altas reducciones del número de semillas por vaina, tamaño de semillas y por consecuente el rendimiento (p. 133).

5.3.12. Porcentaje de vainas mal fecundadas

Para esta etapa se tomó en cuenta las vainas no fecundadas para cuantificar el efecto de las altas temperaturas sobre el número de granos en cada vaina. En esta evaluación no encontramos diferencias estadísticas, sin embargo podemos verificar que dicha variable es directamente proporcional al rendimiento (Cuadro 7), es decir que menores porcentajes de vainas mal fecundadas causadas por altas temperaturas se reflejan en rendimientos más altos. Los genotipos que presentaron menor porcentaje de vainas mal fecundadas fueron PL 154 (32.13 %), PL 151 (34.38 %) y PL 142 (39.53 %). El genotipo PL 140 presentó el mayor porcentaje de vainas mal fecundadas. De acuerdo con el trabajo de investigación de Barrios et al., (2011), hace notar que altas temperaturas sobre la planta reducen el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas normales o bien fecundadas (m^2), y el peso de 100 semillas en 12.5, 10.7, 10.2 y 3.4% por cada $^{\circ}C$ ($-1^{\circ}C$) de aumento de la temperatura (p. 144).

5.4. Cuarta Etapa: evaluación multiambientales de los genotipos

Figura 5. Contribución de los genotipos y ambientes a la interacción representada mediante los dos primeros componentes del modelo AMMI para rendimiento (kg ha^{-1}) de 16 genotipos de frijol rojo tolerantes a alta temperatura en cinco ambientes año 2020-2021.



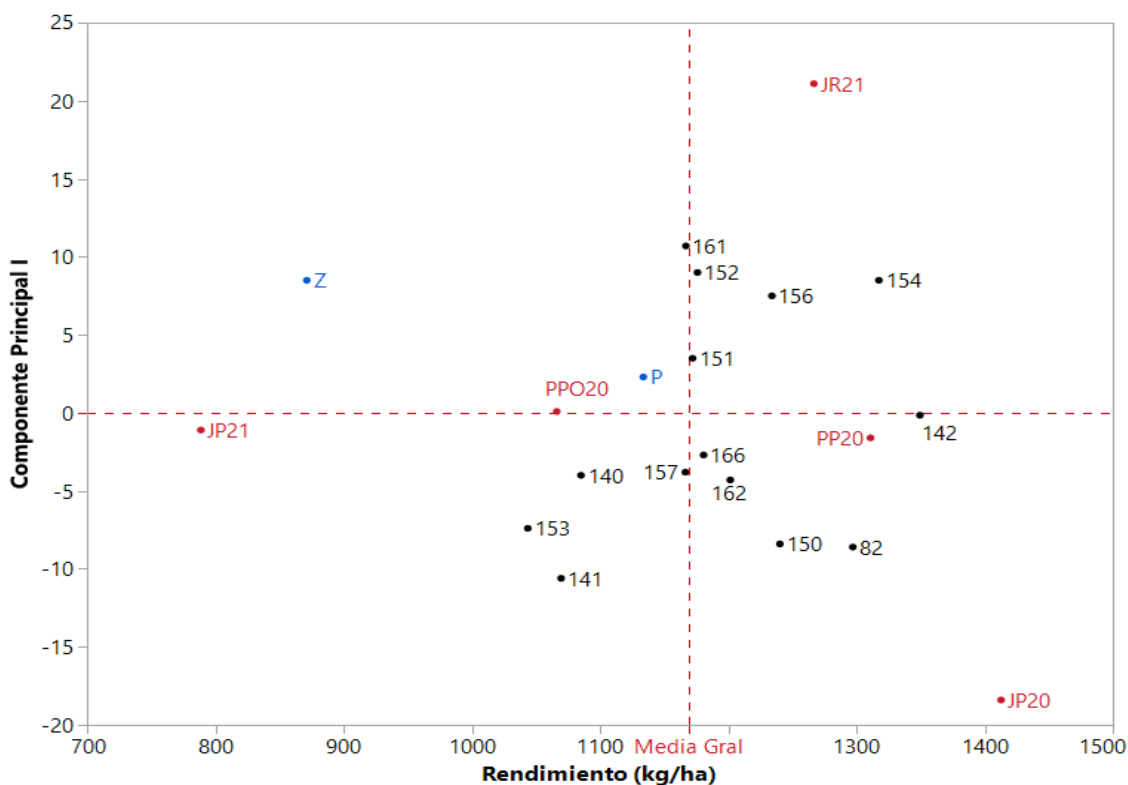
En la figura 5 se presenta la asociación de los genotipos y ambientes en el espacio comprendido por los dos primeros componentes principales, los que explican el 92 % de la variabilidad de los residuos y se puede considerar que ellos son suficientes para explicar los patrones debido a la interacción.

Dada su cercanía al origen se puede decir que los genotipos PL 142, PL 166, PL153, PL150 y PL151 presentaron mayor estabilidad en sus rendimientos de grano a través de los ambientes en estudio pero su contribución a la interacción fue baja en cambio los genotipos PL 141 y 161 son más inestables pero su contribución a la interacción fue alta.

Hay un grupo de genotipos que se desarrollan bien en el ambiente de Juigalpa primera 2021

considerado ambiente favorable para temperatura como son el PL142, PL82 y PL150 en cambio hay otros que se adaptaron bien a las condiciones de alta temperatura del ambiente de Juigalpa Riego 2021 como son PL 154, PL 161 y PL 156 por tanto los ambientes podrían estar creando las condiciones necesarias para que se expresen los genes asociados al rendimiento de cada grupo de genotipo.

En un programa de selección, el criterio de estabilidad del rendimiento de grano de los genotipos no es el único ya que puede ocurrir lo que se describió en el párrafo anterior por lo que una



estrategia alternativa puede ser la selección de genotipos con adaptación específica.

Figura 6. Contribución de los genotipos y ambientes a la interacción representada mediante los dos primeros componentes del modelo AMMI para rendimiento (kg ha^{-1}) de 16 genotipos de frijol rojo tolerantes a alta temperatura en cinco ambientes año 2020-2021.

En la figura 6, se presenta la estabilidad y el rendimiento de los genotipos y ambientes. Tomando como referencia el eje de las abscisas podemos distinguir un grupo de genotipos (Figura 6, cuadrante inferior y superior a la derecha) que claramente difieren en sus promedios del rendimiento de grano en comparación con la variedad Polon y con la variedad mejorada Zamorano consideradas en este estudio como testigos. Esto refleja el avance debido al fitomejoramiento en

estos materiales genéticos, así como su adaptación a determinados ambientes donde fueron evaluados, sobre todo en aquellos donde prevalecieron condiciones de alta temperatura. En el caso del ambiente de Juigalpa primera 2020 es el ambiente más productivo esto podría estar asociado al riego suplementario que recibió el ensayo. Tal y como se mencionó en la figura 5, los genotipos presentaron diferentes niveles de estabilidad del rendimiento de grano (contribución diferenciada a la interacción) y esto también se aprecia en la Figura 6. Por ejemplo, los genotipos PL 140 y PL 157 se pueden considerar como estables pero de bajo rendimiento, en cambio el genotipo PL 142 es el que presenta los mayores rendimientos a través de los ambientes y es muy estable. En cambio el genotipo PL 154 es muy productivo pero inestable, la productividad de este genotipo está asociado a los ambientes que presentaron alta temperatura. Datos similares presenta (Acosta et al., 2012) reportando que los genotipos más productivos fueron los más inestables

VI. CONCLUSIONES

Se identificaron genotipos de frijol PL 142, PL 154 y PL 82, con rendimientos de 4092 kg ha¹, 3192.93 kg ha¹, 2375.97 kg ha¹, bajo condiciones de alta temperatura nocturna durante la prueba de progenie (Ciclo, 2020), incrementando el rendimiento en un 61.61%, 30.78% y 24.66% respecto a la población original tomada como testigo.

Los genotipos PL 142, PL 154 y PL 82, durante el ciclo 2021, bajo condiciones de alta temperatura nocturna presentaron rendimientos de 1415.38 kg ha¹, 1545.01 kg ha¹, 1338.56 kg ha¹. El genotipo PL 154 y PL 142 presentaron un incremento de 14.72% y 5.1 % respecto a la población original.

En condiciones de Juigalpa (Primera, 2020 condiciones favorables de temperatura), los genotipos PL 82, PL 142 y PL 154 presentan rendimientos de 1757.70 kg ha¹, 1575.81 kg ha¹ y 1428.49 kg ha¹, El PL 82 y PL 142, muestran un incremento de 21.9% y 9.28% respecto a la población original.

En condiciones de la comunidad de La Palma, San Pedro de Lóvago (Primera 2020 condiciones favorables de temperatura), los genotipos PL 142, PL 82 y PL 154 presentan rendimientos de 1464.57 kg ha¹, 1432.4 kg ha¹ y 1353.53 kg ha¹, respecto a la población original incrementaron el rendimiento en 19.95%, 17.31% y 10.85%.

Las variables agronómicas que inciden sobre el rendimiento de grano bajo condiciones de alta temperatura (ciclo riego 2021) fueron: vainas mal fecundadas y número de vinas por planta. Para estas variables se destaca el genotipo PL 154 con tal solo el 32% de vainas mal fecundadas y 15 vainas por planta. En cambio el genotipo Zamorano fue más afectado por la alta temperatura ya que presentó un 45% de vainas mal fecundadas y 12 vainas por planta

En condiciones de Juigalpa (Primera, 2020), los genotipos PL 82, PL 142 y PL 154 presentan rendimientos de forraje verde de 15781.11 kg ha¹, 16100 kg ha¹ y 14833.33 kg ha¹ y de materia seca presentan rendimientos de 3882.2 kg ha¹, 3874.4 kg ha¹ y 3589.8 kg ha¹.

En condiciones de la comunidad de La Palma, San Pedro de Lóvago (Primera 2020), los genotipos PL 142, PL 82 y PL 154 presentan rendimientos de forraje verde de 27550 kg ha¹, 21460 kg ha¹ y

25560 kg ha¹ y de materia seca presentan rendimientos de 4814 kg ha¹, 4359 kg ha¹ y 4165 kg ha¹.

En condiciones de la comunidad de La Palma, San Pedro de Lóvago (Primera 2020), los genotipos PL 142, PL 157 y PL 153 presentan 22.06%, 22.06% y 19.19% de proteína bruta respectivamente.

El análisis Efecto de Interacción Multiplicativo y Efectos Principales Aditivos (AMMI) demostró que el criterio de estabilidad del rendimiento de grano de los genotipos no es el único criterio que se debe de tomar en cuenta en un programa de mejoramiento genético ya que hay genotipos con adaptación específica que presentan excelentes rendimientos en ambientes muy puntuales.

El análisis AMMI demostró que el genotipo PL 142 es el más estable y el de mayor rendimiento a través de los ambientes, además se constató que el genotipo con adaptabilidad específica a ambientes con alta temperatura fue el PL154.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda validar los 3 mejores genotipos que presentan un buen comportamiento en condiciones favorables y en condiciones de alta temperatura estos son: PL 154, PL 142 y PL 82.

Se recomienda formar una nueva variedad de frijol multilínea que tolerante a alta temperatura y condiciones favorables a partir de la mezcla de los tres genotipos que resultaron con mayor rendimiento en las etapas de prueba de progenie y evaluación de líneas elites y someterlas al proceso de validación.

VIII. LITETARURA CITADA

- Alarcón, R., (2013). *Evaluación del poliacrilato de potasio, en el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), como práctica de adaptación a la amenaza de sequía, Parramos, Chimaltenango.* (Tesis de Ing. Agr.). UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Acosta, J., Espinoza, T., Sánchez, Y., Jiménez, P., Rosales, R., Zandate, H., González, R. (2012). Adaptación del frijol tipo flor de junio a diferentes ambientes de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, 427-438.
- Amador. M., y Rojas, B. (2002). Efecto de la calidad de corte (60, 90 y 120 días) sobre la cantidad y calidad de biomasa producida por el frijol gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), en suelo franco arenoso en zona seca de Managua (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.
- Ávila, N. (2006). Evaluación De Producción Forrajera Y Rendimiento De Grano En Cultivares De Frijol Yorimón [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.] Y Su Efecto En Aspectos Productivos De Cabras Criolla (Tesis de Postgrado). Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C (CIBNOR).La Paz, México.
- Babu, N., y Devaraj, V. (2008). High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, 2(2), 40–48.
- Barrera, S. (2016). *Mecanismos morfofisiológicos asociados con la tolerancia a altastemperaturas en frijol común, Phaseolus vulgaris L.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Barrios, E., Lopez, C. y Kohashi, J. (2011). Relaciones Hídricas Y Temperaturas Altas En Frijol Del Tipo “Flor De Mayo”. *Agronomía Costaricense*, 35(1), 131-145.
- Bendaña, S. (2014). *Estudio de la cadena de frijol negro Proyecto “Microfinanzas comunitarias y servicios microfinancieros rurales especializados en El Salvador, Guatemala, Nicaragua y República Dominicana.* Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos. Ministerio de Asuntos Exteriores. Fundación CODESPA.
- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y. y Olivera, D. (2018). Efecto De Cuatro Densidades De Siembra En El Rendimiento Agrícola Del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias De La Universidad Nacional de Colombia*, 7(1), 1-19.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1994). *Problemas de Producción del Frijol*

en los Trópicos. Cali, Colombia.

CIAT. (1984). *Morfología de la Planta de frijol Común (Phaseolus vulgaris L.) (2da ed.)* Cali, Colombia.

CIAT. (1985). *Conceptos básicos de fisiología del frijol*. Cali, Colombia.

CIAT. (1994). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Cali, Colombia.

Díaz Pérez. J. P., y Pérez Altamirano. J. E. (2021). Mejoramiento productivo de una variedad criolla de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), a través de dos métodos de selección en condiciones de Juigalpa, El Rama y Muelle de los Bueyes, periodo 2016-2018 (Tesis de Ingeniería Agroforestal). Bluefields Indian y Caribbean University (BICU). Región Cosca Caribe Sur, Nicaragua.

Dickson, H., y Petzoldt, T. (1991). Breeding for heat tolerance and pod set in snap beans. *Bean Improv. Coop*, 34, 110-111.

Dickson, M. H., y Petzoldt, R. (1989). Heat tolerance and pod set in green beans. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 114(5), 833-836.

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL, 2001). Caracterización Municipal de Juigalpa. Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Chontales/Juigalpa.html>

Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL). (2004). Caracterización Municipal De San Pedro de Lóvago: Ficha Municipal. Recuperado de <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Chontales/SanPedrodeLovago.html>

Farlow, P.J., Byth, D.E., y Kruger, N.S. (1979). Effect of temperature on seed set and in vitro pollen germination in french beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Australian journal of experimental Agriculture and Animal Husbandry, Melbourne*, 19, 725-731.

González, J., y Chow, L. (2008). Comportamiento agronómico y productivo de nueve leguminosas herbáceas forrajeras, en el municipio de Muy Muy, Matagalpa (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

- Gross, Y., y Kigel, J. (1994). Differential sensitivity to high temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 36(3), 201-112.
- Gutiérrez, P., y Chavarría, R. (2015). *Estrategias de adaptación ante el cambio climático en granos básicos: maíz (Zea mays) y frijol (Phaseolus vulgaris) en cinco comunidades de San Ramón, Matagalpa 2014*. (Tesis de Ing. Agr.) Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), Managua.
- hatfield, J., y Prueger, J. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10(1), 4-10.
- Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER). (1998). Extensión territorial de Nicaragua por departamentos y municipios. Managua: Nicaragua.
- INIDE-MAGFOR. (2013). IV Censo Nacional Agropecuario CENAGRO: Departamento de Chontales y sus Municipios. Managua, Nicaragua.
- Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT, 2016). *Estudio de los efectos de las altas temperaturas sobre el crecimiento y desarrollo de cultivos de granos de interés agrícola*. Recuperado de <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1878/1/Efectos%20altas%20temperaturas%20sobre%20crecimiento%20y%20desarrollo%20cultivos%20de%20granos%20de%20inter%C3%A9s%20agr%C3%ADcola.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol: En los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo de Boaco, Nicaragua*. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3846E/A3846E.PDF>.
- Jarquín Joya, R., González López, V. y Joya Rodríguez, T. (2012). Evaluación de 13 Líneas Avanzadas de Fríjol Rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) y un testigo INTA Rojo, para la tolerancia a la sequía, y adaptabilidad a condiciones agroecológicas de la zona, comunidad El Porcal, Municipio de San Lucas, Depto. de Madriz, 2012 (Tesis de Ingeniería en Agroecología Tropical). Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, Leon, Nicaragua.
- Konsens, I., Ofir, M., y Kigel, J. (1991). The Effect of Temperature on the Production and Abscission of Flowers and Pods in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*, 67(5), 391-399

- Lara, L. (2015). *Efecto de la temperatura sobre la fenología y productividad de variedades de frijol común, factor esencial del cambio climático* (Tesis de Maestría). Universidad De Guadalajara, Jalisco, México.
- Lopez Nolasco, N. D. y Marín Lopez, J. C. (200). Evaluación preliminar de 63 líneas avanzadas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de grano color negro en la estación experimental La Compañía, Carazo. (Tesis de Ingeniería Agronómica). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA (MIT, 2010). Diagnóstico de la Infraestructura Vial de la Red de Caminos Vecinales del Municipio de “Juigalpa”. Recuperado de <https://docplayer.es/73572895-Diagnostico-de-la-infraestructura-terciaria-de-transporte-en-los-municipios-jinotega-matagalpa-boaco-y-chontales.html>
- MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA (MIT, 2019). MAPA MUNICIPAL DE SAN PEDRO DE LÓVAGO: RED VIAL INVENTARIADA POR TIPO DE SUPERFICIE. Recuperado de <https://www.mti.gob.ni/wp-content/uploads/mapas/CT-SAN%20PEDRO%20DE%20LOVAGO-MUNICIPAL.pdf>
- Ofir, M., Gross, F., Bangerth, J., y Kigel J. (1993). High temperature effects on pod and seed production as related to hormone levels and abscission of reproductive structures in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientia Horticulturae*, 55, 3-4.
- Omae, H., Kumar, A., Kashiwaba, K., y Shono, M. (2007). Influence of Temperature Shift after Flowering on Dry Matter Partitioning in Two Cultivars of Snap Bean (*Phaseolusvulgaris*) that Differ in Heat Tolerance. *Plant Production Science*, 10(1), 14–19.
- Otal, J., Quiles, A., Orengo, J., Martínez, M., y Ramírez, A. (2010). Producción de materia seca y calidad forrajera de leguminosas anuales de clima mediterráneo. *Anuales de Veterinaria de Murcia*, 25, 111–122.
- Peralta Peralta, D. M. (2018). Comportamiento agronómico de 14 poblaciones criollas de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) en los departamentos de Estelí y Nueva Segovia. (Tesis de Ingeniería Agronómica). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Porch, T. G., y hall, A. E. (2013). Heat Tolerance. In C. Kole (Ed.). *Genomics and Breedingfor Climate-Resilient Crops*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2, 167-202.
- Porch, T., y Jahn, M. (2001). Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell and Environment*

24, 723-731.

- Quezada, N. (2015). *Importancia alimenticia del cultivo del frijol negro en Nicaragua*. Universidad Autónoma de Nicaragua (UNAN), 8(13), 60-65.
- Reta Sánchez, D. G., Castellanos Galván, P., Olague Ramírez, J., Quiroga Garza, H., Serrato Corona, J., y Gaytán Mascorro, A. (2013). Potencial forrajero de cuatro especies leguminosas en el ciclo de verano en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 4(5), 659-671.
- Rivera Rodríguez, K. M. (2017). Evaluación fenotípica de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a altas temperaturas (Tesis inédita de Ingeniería Agronomica). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Rodríguez, E., y Gamarra, L. (2016). *Evaluación fenotípica de líneas de frijol común a la tolerancia a altas temperaturas en el sur de Honduras y su caracterización molecular*(Tesis de Ingeniería). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Rosas, J., Castro, A., Beaver, J., Pérez, C., Morales, A., y Lepiz, R. (2000). MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA TOLERANCIA A ALTAS TEMPERATURAS Y RESISTENCIA A AMOSAICO DORADO EN FRIJOL COMÚN. *AGRONOMIA MESOAMERICANA*, 11(1). 01-10.
- Rosas, J., Rodríguez, I., Beaver, J., Beebe, S., Porch, T., Lynch, J. y Burrridge, J. (2015). SELECCIÓN DE LÍNEAS DE FRIJOL TOLERANTES A LAS ALTAS TEMPERATURAS EN HONDURAS. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Rosas, J., Rodríguez, I., Beaver, J., Beebe, S., Porch, T., Lynch, J. y Burrridge, J. (2015). LÍNEAS DE FRIJOL COMÚN TOLERANTES AL ESTRÉS DE LAS ALTAS TEMPERATURAS. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Secretaría de Economía: Dirección General De Industrias Básicas (SE) (2012). *Análisis de la cadena de valor del frijol*. Recuperado de https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf
- Sánchez Mondragón, D. (2015). Evaluación de quince genotipos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), en El Plan, San Isidro – Matagalpa, primera 2013. (Tesis de Ingeniería Agronómica) Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Solis Puerto, P. A. (2005). EFECTO DE SECUENCIAS DE CULTIVOS Y SISTEMAS DE

LABRANZA SOBRE LA DINÁMICA DE ARVENSES Y EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL COMUN (*Phaseolus Vulgaris* L.). EVALUACIÓN DE TRES AÑOS DE ESTUDIO (Tesis de Ingeniería Agronómica). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Tim, P. 2016. Altas temperaturas. Taller de mejoramiento genético de frijol para estrés abiótico, realizado del 15 al 17 agosto. Mayagüez Puerto Rico.

Tofiño, A. A., Mauricio, H., y Hernán, R. Y. (2007). Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. *Agronomía Colombiana*. 25(2), 245-254.

Unión Nacional De Agricultores Y Ganaderos (UNAG, 2008), *ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DE FRIJOL DE CARAZO, NICARAGUA*. Recuperado de

<https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENE70U58.pdf>

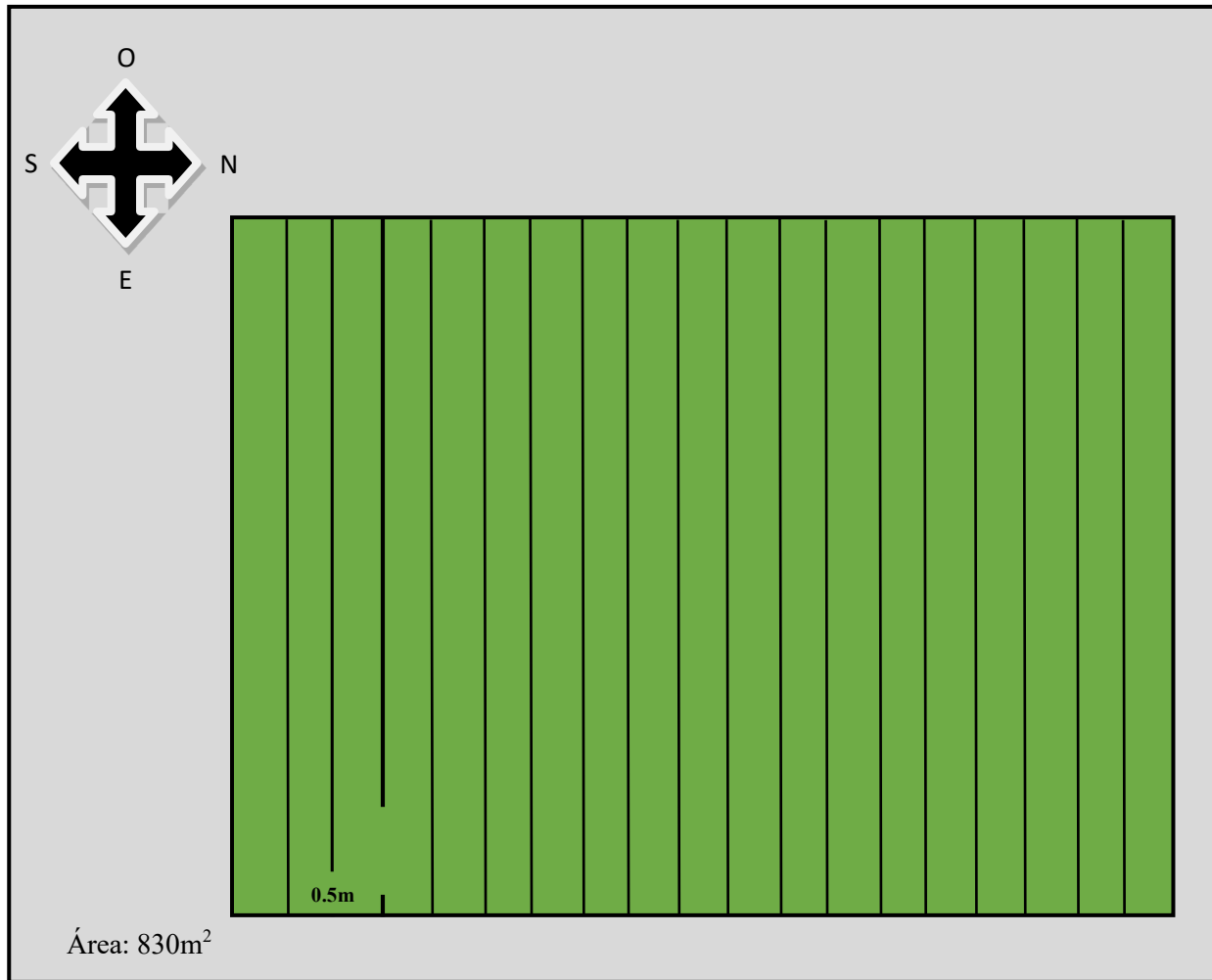
Villanueva, D. (2010). *EVALUACIÓN DE SEIS VARIEADES DE FRIJOL (Phaseolusvulgaris L.), BAJO CONDICIONES DE CULTIVO TRADICIONAL EN LOCALIDADES DE CHIMALTENANGO Y SOLOLÁ*. (Tesis de Ing. Agr).

Universidad De San Carlos De Guatemala.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., y Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo de la parcela experimental durante la primera etapa del ensayo (Postrera, 2019).

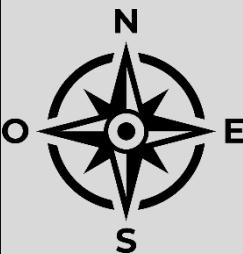


Anexo 2. Plano de campo de la parcela experimental durante la segunda etapa del ensayo (Juigalpa, 2020).



L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	PL	Z	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	PL	Z	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	PL	Z		
L31	L32	L33	L34	L35	L36	L37	L38	L39	L40	PL	Z	L41	L42	L43	L44	L45	L46	L47	L48	L49	L50	PL	Z	L51	L52	L53	L54	L55	L56	L57	L58	L59	L60	PL	Z		
L61	L62	L63	L64	L65	L66	L67	L68	L69	L70	PL	Z	L71	L72	L73	L74	L75	L76	L77	L78	L79	L80	PL	Z	L81	L82	L83	L84	L85	L86	L87	L88	L89	L90	PL	Z		
L91	L92	L93	L94	L95	L96	L97	L98	L99	L100	PL	Z	L101	L102	L103	L104	L105	L106	L107	L108	L109	L110	PL	Z	L111	L112	L113	L114	L115	L116	L117	L118	L119	L120	PL	Z		
L121	L122	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L130	PL	Z	L131	L132	L133	L134	L135	L136	L137	L138	L139	L140	PL	Z	L141	L142	L143	L144	L145	L146	L147	L148	L149	L150	PL	Z		
L51	L52	L53	L54	L55	L56	L57	L58	L59	L60	PL	Z	L161	L162	L163	L164	L165	L166	L167	L168	L169	L170	PL	Z	L171	L172	L173	L174	L175	L176	L177	L178	L179	L180	PL	Z		
L181	L182	L183	L184	L185	L186	L187	L188	L189	L190	PL	Z	L191	L192	L193	L194	L195	L196	L197	L198	L199	L200																

Anexo 3. Planos de campo de la parcela experimental durante la tercera etapa del ensayo (Juigalpa y Palma, Primera, 2020).



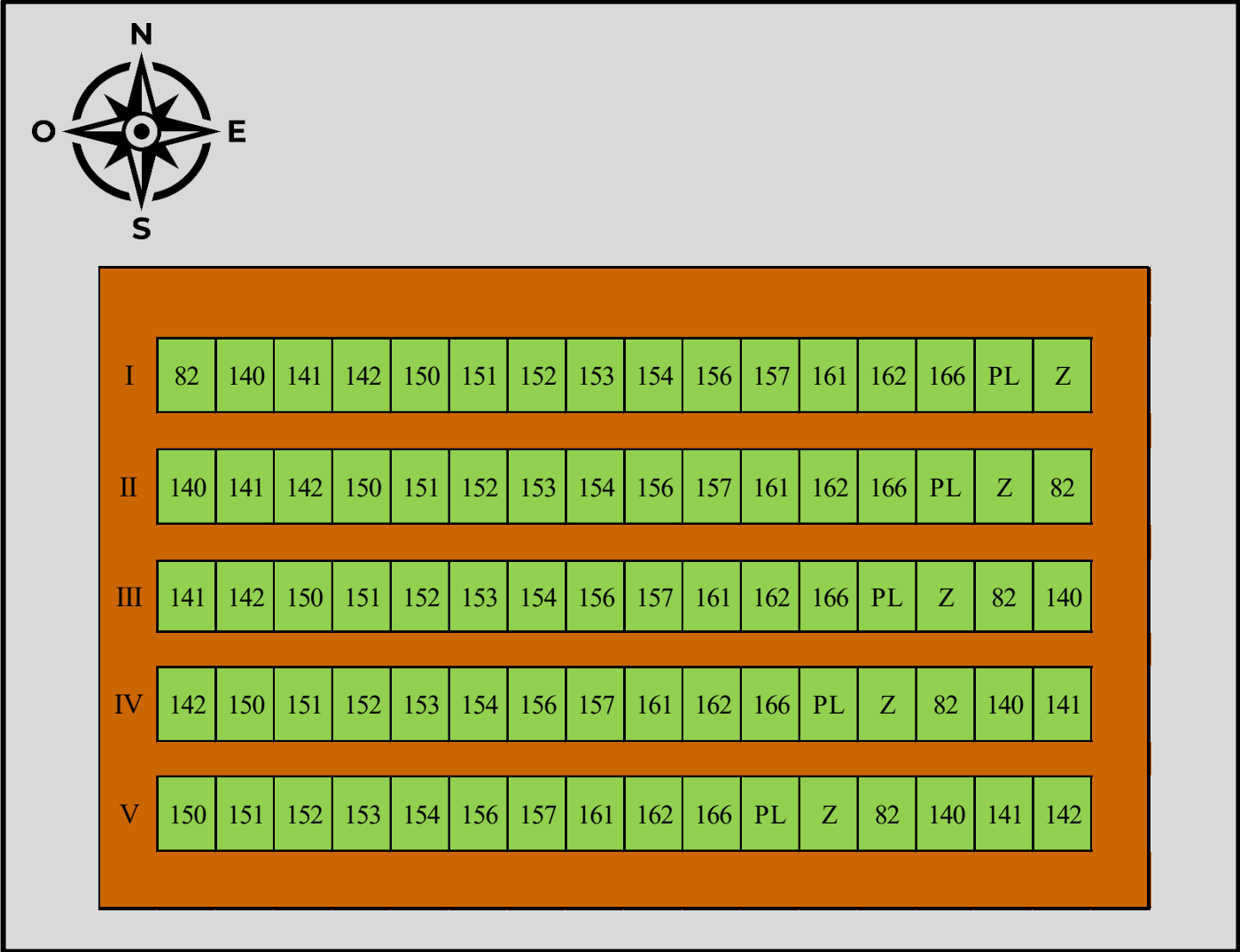
I	152	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z	82	140	141	142	150	151
II	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z	82	140	141	142	150	151	152
III	82	140	141	142	150	151	152	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z

Plano de campo bajo de La sede Juigalpa, Chontales (Primera, 2020).

I	152	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z	82	140	141	142	150	151
II	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z	82	140	141	142	150	151	152
III	82	140	141	142	150	151	152	153	154	156	157	161	162	166	PL	Z

Plano de campo bajo alta temperatura en La Palma, Chontales (Primera, 2020).

Anexo 4. Plano de campo de la parcela experimental durante la cuarta etapa del ensayo (Juigalpa, 2021).



Anexo 5. Siembra de la parcela experimental (Juigalpa, 2019).

