

CARACTERIZACIÓN DE LA TOLERANCIA A SEQUÍA DE GENOTIPOS DE *Coffea canephora* P. var. ROBUSTA

¹**Ana Odetth Quintana Escobar** - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Rosario Izapa. Chiapas, México. Centro de Biociencias de la Universidad Autónoma de Chiapas. México. odetth@gmail.com

²**Leobardo Iracheta-Donjuan** - INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Chiapas, México. iracheta.leobardo@inifap.gob.mx

³**Ismael Méndez-López** - INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Chiapas, México. mendez.ismael@inifap.gob.mx

⁴**Moisés Alonso-Báez** - INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Chiapas, México. alonso.moises@inifap.gob.mx

Resumen: En México se cuentan con genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta con alto rendimiento y productividad, pero se desconoce el nivel de tolerancia a sequía. El objetivo fue caracterizar cinco genotipos de *C. canephora* Robusta por su grado de tolerancia a sequía. Los genotipos INIFAP 00-27, 00-28, 95-9, 97-14 y 97-15 fueron sometidos a estrés hídrico en dos condiciones: capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Se evaluó la capacidad de restauración del crecimiento después de aplicar un riego de recuperación, mediante la medición de variables fisiológicas, contenido relativo de agua, acumulación de prolina, biomasa e índice de calidad. Los genotipos respondieron al estrés hídrico por diferentes mecanismos, como alargamiento de raíces, acumulación de prolina, pérdida de hojas y mantenimiento de la tasa de crecimiento relativa. El genotipo que presentó mayor tolerancia a sequía fue el 97-15; por el contrario el más susceptible fue el 00-28.

Palabras clave: Déficit hídrico, marchitez permanente, prolina, contenido relativo de agua.

Abstract: Mexico has genotypes of *Coffea canephora* P. var. Robusta with high performance and productivity, but the level of drought tolerance is unknown. The objective was to characterize five genotypes of *C. canephora* Robusta by their degree of drought tolerance. Genotypes INIFAP 00-27, 00-28, 95-9, 97-14 and 97-15 were subjected to water stress in two conditions: field capacity and field capacity. Restoration capability after applying growth recovery irrigation, by measuring physiological variables, relative water content, proline accumulation, biomass and quality index was evaluated. Genotypes responded to water stress by different mechanisms, root elongation, proline accumulation, loss of leaves and maintaining relative growth rate. The genotype showed higher drought tolerance was 97-15; on the contrary the more susceptible was 00-28.

Keyword: Water stress, permanent wilting, proline, relative water content.

Introducción

La variedad Robusta de *Coffea canephora* es de importancia mundial en la industria del café soluble, pues cuenta con alto contenido de cafeína, excelente rendimiento industrial y un sabor intenso que le aporta cuerpo a la bebida. En México se cultiva en zonas bajas de los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca, además es responsable del 26 % de las exportaciones totales de café (AMECAFE, 2012).

En Chiapas, en la región Soconusco, el cultivo del café afronta un desafío: cambios regionales en el clima, que afectan precipitación y temperatura, dando lugar a menor estabilidad para la producción (Lin, 2009). Los modelos de predicción climática estiman un aumento de 5 °C en la temperatura en las próximas décadas (Sáenz-Romero *et al.*, 2012); con cambios que se extienden hacia el 2020 (Gay *et al.*, 2006). En los últimos años, Chiapas ha sido afectado por dicho cambio climático y desastres naturales, como sequías. Por tal motivo, se prevé que la frecuencia e intensidad de estos eventos aumente en el futuro (Schroth *et al.* 2009); lo que afectará negativamente la fisiología, floración y fructificación de las plantas de café, que a su vez puede provocar hasta 34 % de disminución del rendimiento (Frank *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Dado lo anterior, es de interés contar con genotipos tolerantes a las condiciones climáticas adversas de los próximos años.

Se tienen estudios sobre estrés por sequía en *C. canephora* a nivel de campo, en los cuales, DaMatta *et al.* (2003), Pinheiro *et al.* (2004 y 2005), Praxedes *et al.* (2006) y Méndez (2012), evaluaron genotipos tolerantes y sensibles, observaron que las plantas responden por ajuste osmótico, aumento en elasticidad de tejidos, profundidad radicular, control estomático y acumulación de solutos.

En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha generado diversos clones de *C. canephora* con características sobresalientes de rendimiento y calidad de grano. Estos genotipos conforman una variedad policlonal, la cual constituye una alternativa para los productores de las zonas bajas (menores a los 600 msnm). Sin embargo, se desconoce el grado de tolerancia al déficit hídrico. Por tal motivo, al tomar en cuenta las predicciones climáticas poco favorables para el cultivo de café en la región, surge la necesidad de conocer el nivel de tolerancia al estrés hídrico por sequía de estos materiales, así como estudiar las respuestas morfo-fisiológicas involucradas. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue caracterizar diferentes genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta por su grado de tolerancia a sequía.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental Rosario Izapa (CERI) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Como material biológico se utilizaron cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta: INIFAP 00-27, INIFAP 00-28, INIFAP 95-9, INIFAP 97-14 e INIFAP 97-15, sobresalientes por tener gran tamaño de semilla, calidad industrial y altos rendimientos.

Se utilizaron 20 plantas con altura promedio de 48 cm y estado fenológico (1 y 2 cruces) por genotipo, generadas mediante estacas enraizadas y crecidas en 700 g de sustrato de pulpa de café con suelo orgánico (1:1), en macetas negras con tres perforaciones para drenado. Las macetas se colocaron en camas de siembra con 19 y 32 °C de temperatura mínima y máxima, respectivamente y promedio de 64.21 % de humedad relativa.

El total de la población por genotipo se dividió en dos grupos: el testigo, con 10 repeticiones bajo riego a capacidad de campo (CC) con humedad aproximada de 33 %, el segundo grupo con 10 repeticiones sometido a condición de estrés por sequía con suspensión de riego hasta alcanzar un Ψ_w del suelo de -20 bares (PMP) y humedad de 11 %.

Se tuvo un total de 10 tratamientos, producto de la combinación de los cinco genotipos con dos niveles de humedad del suelo (CC y PMP). La unidad experimental y repetición fue una planta.

La condición de estrés por sequía se mantuvo por un lapso de 3 d, al cabo del cual se realizó la primera evaluación. Posteriormente se aplicó un riego de recuperación a CC y se evaluó la respuesta a los 3, 5, 10, 15, 20, 40 y 60 d después del riego de recuperación (ddrr), con base en las variables: tasa de crecimiento relativa calculada de acuerdo a la fórmula $TCR = (altura\ final - altura\ inicial) / (tiempo\ 2 - tiempo\ 1)$, dicha altura se midió en centímetros del cuello de la planta hasta el ápice; número de hojas completamente extendidas, diámetro del tallo; número de hojas quemadas y nivel de quemadura de las mismas de acuerdo a un gradiente establecido con cuatro niveles de quemaduras, donde 0 corresponde a hojas sin quemaduras y 4 a hojas completamente quemadas; contenido relativo de agua (CRA) de acuerdo a (Iracheta-Donjuan, 2012) y prolina según la metodología de Bates (1973). Se determinó biomasa de la parte aérea y radical de tres repeticiones por tratamiento a los 20 y 60 d, y se registró la longitud de la raíz; con los datos obtenidos de las variables anteriores se calculó el índice de calidad de Dickson (ICD) propuesto por Barajas *et al.* (2004). El experimento se estableció de acuerdo a un diseño

completamente al azar. Se llevó a cabo un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 con el paquete estadístico SAS system para Windows versión 9.

Resultados y Discusión

Los genotipos presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de sequía (PMP) y capacidad de campo (CC). Esta respuesta varió dependiendo de la variable de estudio. De igual forma, los genotipos mostraron un comportamiento diferente entre ellos, el cual varió nuevamente en función de las variables. De tal forma, se apreció que algunos genotipos fueron más tolerantes que otros en determinada variable, pero esta tolerancia se modificó al cambiar de variable.

En el caso del diámetro de tallo (DIAM) todos los genotipos tuvieron la capacidad de seguir creciendo en grosor después de haber sido sometidos al PMP por 3 d, con respecto al diámetro observado a los 3 d después del riego de recuperación (Cuadro 1). En tal caso durante los 3 d en PMP el genotipo 97-15 fue el único que no registró una disminución significativa del diámetro en PMP con respecto a las plantas en CC. Sin embargo, transcurridos 3 d después del riego de recuperación los genotipos 00-28, 97-14 y 97-15 fueron capaces de restablecer el crecimiento en grosor de las plantas estresadas, pues no se observaron diferencias significativas con respecto al testigo en CC. Esta capacidad de recuperar el crecimiento del tallo en grosor podría estar asociada a que estos genotipos presentan una mayor velocidad de crecimiento, aun en condiciones de estrés, comparados con el genotipo 95-9 y 00-27. Lo anterior se pudo apreciar en la tasa de crecimiento relativo (Cuadro 1), donde se observó que la tasa de crecimiento en el genotipo 00-27, 97-14 y 97-15 después de 3 d en PMP, fue similar o incluso mayor que la tasa de crecimiento de los genotipos 95-9 y 00-27 en CC; lo que indica la mayor capacidad de estos tres genotipos para mantener el crecimiento del meristemo apical. No obstante, los genotipos 00-27 y 97-15 fueron los únicos capaces de mantener tasa de crecimiento sin cambio significativo entre las plantas a CC y a PMP, sin importar que el 97-15 lo hizo con tasas de casi el doble que el 00-27 (Cuadro 1). A los 3 d después del riego de recuperación, además de los genotipos 00-27 y 97-15, sólo las plantas del genotipo 97-14 en PMP fueron capaces de recuperar su tasa de crecimiento.

Si bien las plantas de todos los genotipos presentaron una disminución del número de nudos totales (NNT) en la condición de sequía (Cuadro 1); sólo en los genotipos 00-27 y 97-15, dicha disminución fue significativa con respecto a la condición de CC; además, ambos materiales mantuvieron esta diferencia aún después de aplicado el riego de recuperación. Lo anterior parece contradecir a la tasa de crecimiento relativo de estos genotipos; en la cual, como ya se mencionó, ambos genotipos se mantuvieron sin cambio

en ambas condiciones hídricas. Esto indica que las plantas de los genotipos mantuvieron el crecimiento en las dos condiciones hídricas, pero sin que ello signifique la aparición de nuevos nudos, es decir, que el crecimiento registrado sólo se debe al alargamiento de los entrenudos ya existentes.

Cuadro 1. Diámetro (DIAM), tasa de crecimiento relativo (TCR), número de nudos totales (NNT) y contenido relativo de agua (CRA) de cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta a los 3 d en PMP y a los 3 d después del riego de recuperación (drr) en condiciones de CC y PMP. Datos promedio de 10 repeticiones.

GENOTIPO	HUMEDAD	DIAM (cm)		TCR		NNT		CRA (%)	
		3dPMP	3ddrr	3dPMP	3ddrr	3dPMP	3ddrr	3dPMP	3ddrr
95-9	CC	6.46 a [†]	6.98 a	0.018 a	0.019 a	10.1 a	10.1 a	60.6 a	77.8 a
95-9	PMP	5.58 b	6.30 b	0.011 b	0.012 b	9.3 a	9.3 a	70.9 a	89.7 a
C.V.		3.429	2.9	0.248	0.244	4.17	4.1	15.0	17.5
00-27	CC	6.12 a	6.35 a	0.019 a	0.020 a	8.4 a	8.6 a	79.7 a	67.8 a
00-27	PMP	5.14 b	5.62 b	0.014 a	0.014 a	7.1 b	7.1 b	60.9 a	59.7 a
C.V.		5.518	3.95	0.371	0.38	3.0	2.3	13.5	9.7
00-28	CC	6.57 a	6.26 a	0.024 a	0.024 a	8.9 a	8.9 a	77.3 a	69.7 a
00-28	PMP	5.52 b	6.92 a	0.018 b	0.019 b	8.5 a	8.4 a	49.7 b	70.1 a
C.V.		4.003	5.61	0.261	0.274	6.29	6.5	11.1	12.6
97-14	CC	6.48 a	5.37 a	0.023 a	0.025 a	11.2 a	11.8 a	76.9 a	71.2 a
97-14	PMP	5.68 b	5.83 a	0.017 b	0.020 a	10.7 a	10.9 a	45.9 b	72.1 a
C.V.		4.183	6.35	0.327	0.297	4.32	4.0	12.9	10.4
97-15	CC	5.26 a	5.24 a	0.035 a	0.035 a	11.0 a	11.3 a	57.5 a	62.0 a
97-15	PMP	5.06 a	5.21 a	0.035 a	0.036 a	9.6 b	9.9 b	48.4 a	54.2 a
C.V.		4.073	5.35	0.288	0.287	4.0	3.64	16.9	11.3

[†]Medias con diferente letra por columna por genotipo, son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$)

A los 3 d después de ser sometidos a PMP, todos los genotipos mostraron diferencias significativas en el contenido de prolina entre la condición de CC y PMP. Las plantas en tratamiento de sequía (PMP) tuvieron valores de prolina notablemente más elevados (Figura 1). Los genotipos 00-27 y 00-28 reportaron las concentraciones más elevadas de prolina en condición de PMP; por el contrario, el genotipo 95-9 tuvo menor acumulación de prolina.

Se observó un descenso en el contenido de prolina a partir de los 20 d después del riego de recuperación en la mayoría de los genotipos, a excepción del 97-14, en el cual la disminución de la concentración comenzó a partir de los 3 d después del riego de recuperación. Mientras, a los 40 d todas las plantas que fueron sometidas a PMP igualaron los valores de concentración de prolina de las plantas a CC, excepto el genotipo 00-28, en

el que aún se observaron diferencias significativas entre ambas condiciones hasta los 60 d (Figura 1).

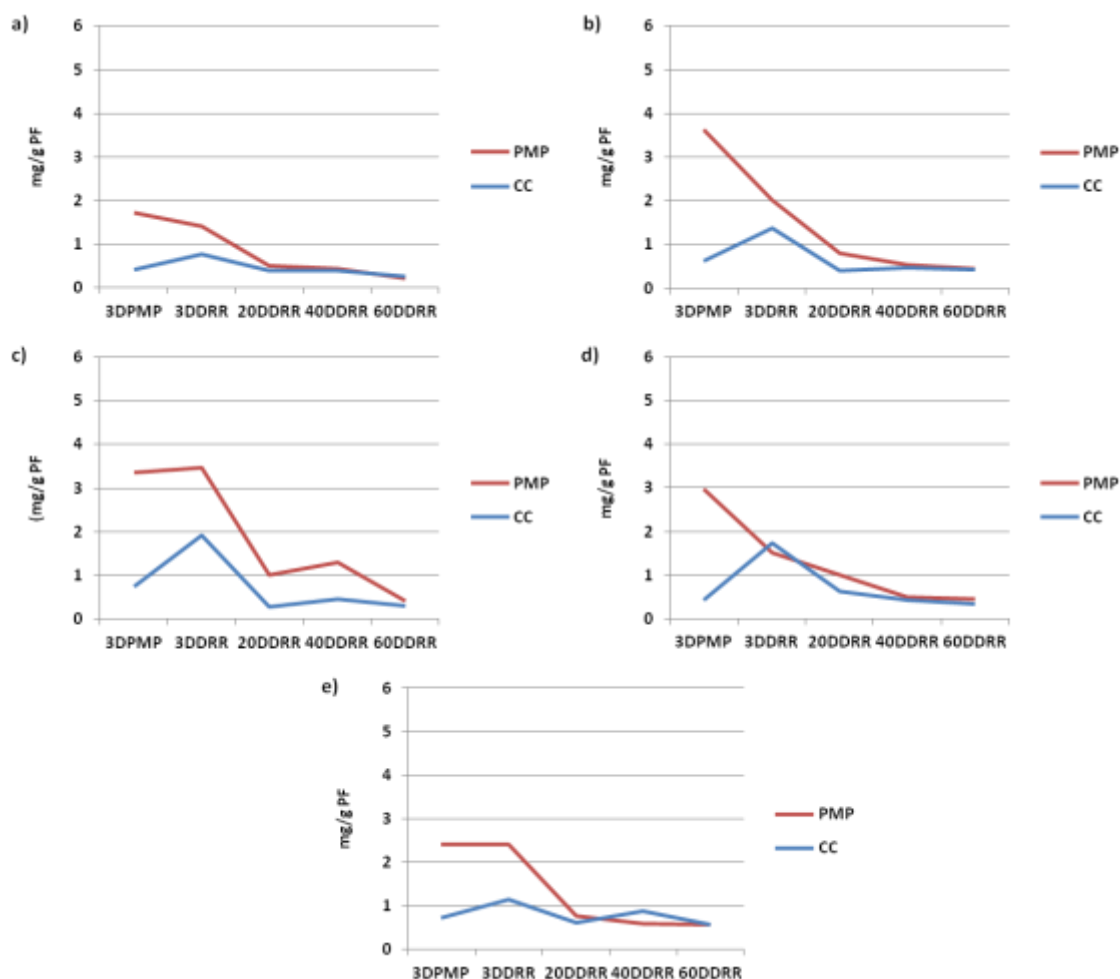


Figura 1. Contenido de prolina en cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta bajo condiciones de PMP y CC. a) Genotipo 95-9 b) Genotipo 00-27 c) Genotipo 00-28 d) Genotipo 97-14 e) Genotipo 97-15

Para el porcentaje de hojas retenidas se observó que el genotipo 00-27 fue el único que retuvo el 100% de las hojas hasta transcurridos 5 d después del riego de recuperación (8 d después de llegar a PMP). Mientras que el 95-9 solo retuvo el 100% hasta los tres días después del riego de recuperación (Figura 2). El resto de los genotipos disminuyeron el porcentaje de hojas durante los 3 d en PMP (Figura 2). De los 10 a los 20 d después del riego de recuperación la mayoría de los genotipos disminuyeron las hojas entre 76 y 84 %. Mientras, el genotipo 00-28 fue el más afectado a lo largo de todas las evaluaciones con porcentajes que oscilaron de 91 a 62 %. Fue posible apreciar que los genotipos 95-9, 97-14 y 97-15 presentaron una recuperación de hojas a partir de los 40 d después del riego de

recuperación mediante la formación de nuevas hojas. Es importante notar que el genotipo 00-27 continuó con una pérdida gradual de hojas, aunque no al grado del genotipo 00-28.

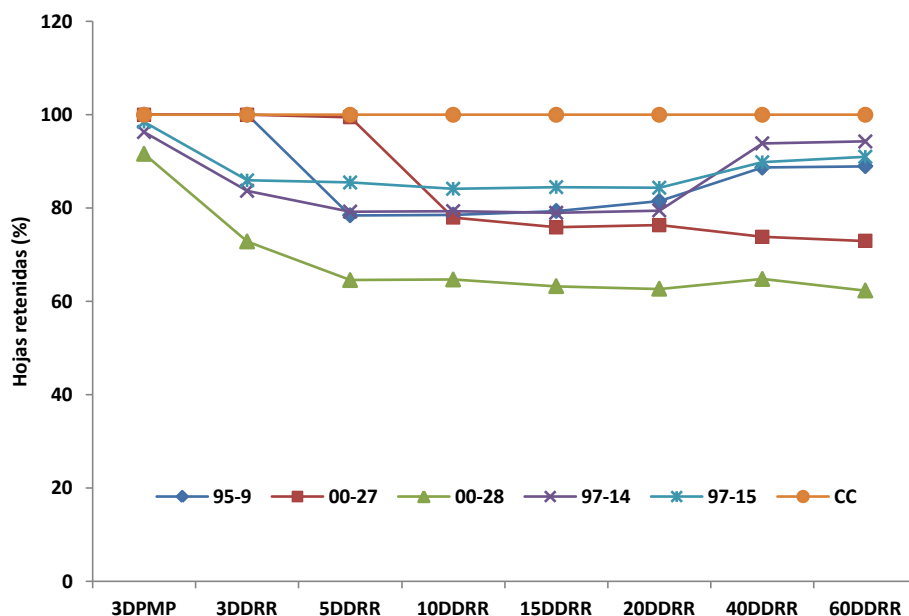


Figura 2. Porcentaje de hojas retenidas de cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta bajo condiciones de PMP.

En el caso de contenido relativo de agua, las plantas de todos los genotipos presentaron disminución del contenido de agua durante los tres días que duraron en PMP; sin embargo, sólo en los genotipos 00-28 y 97-14 estas diferencias entre la condición a CC y PMP, fue significativa. Lo anterior implica que en todos los materiales se presentó pérdida de humedad, pero esta varió de acuerdo al genotipo, puesto que los genotipos 00-28 y 97-14 presentaron pérdidas de 28-31% respectivamente comparados con el resto de los genotipos con pérdidas de 9 a 19%.

Esta mayor pérdida de agua podría implicar cambios importantes en las relaciones hídricas de los tejidos. Esto a su vez podría repercutir en la respuesta tan variada de los genotipos en otras variables durante la condición de estrés. Sin embargo, después del riego de recuperación, todos los genotipos fueron capaces de igualar el contenido relativo de agua entre las dos condiciones hídricas; sin que ello signifique la recuperación al mismo tiempo de otras variables de estudio (Cuadro 1).

En la Figura 3 se consignan las imágenes del sistema radical de todos los genotipos, tanto en PMP como en CC; en ella se apreció que los genotipos 95-9, 00-27 y 97-15, fueron los únicos en inducir mayor alargamiento en el sistema radical en las plantas estresadas con

respecto a las que se encontraban en CC; si bien tales plantas (provenientes de estacas enraizadas), presentan un marcado crecimiento de raíces en forma difusa, los genotipos 95-9, 00-27 y 97-15 indujeron una raíz con crecimiento de tipo pivotante. Lo anterior demuestra que los genotipos utilizaron estrategias diferentes para hacer frente a la condición de estrés. Esta característica de mayor crecimiento del sistema radical podría influir en la tasa relativa de crecimiento de tales genotipos.

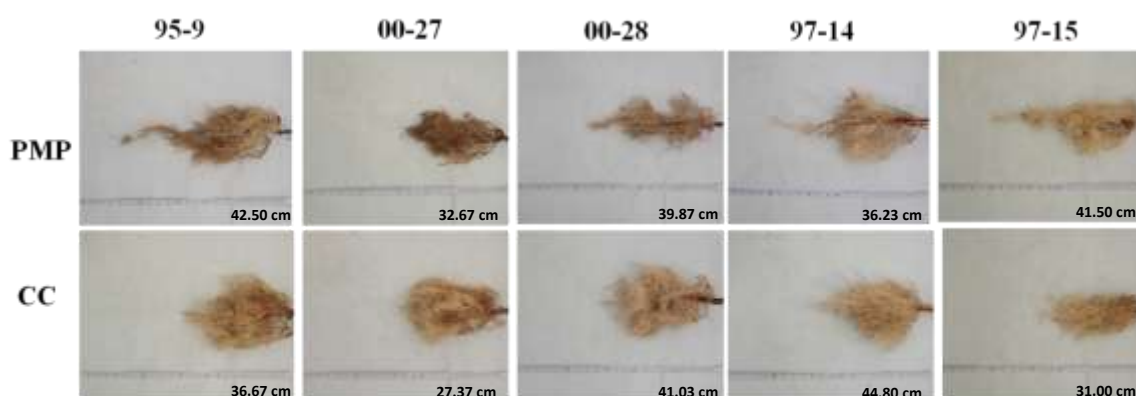


Figura 3. Sistema radical de cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta en condiciones de PMP y CC a los 60 d después del riego de recuperación.

En la Figura 4 se aprecia el peso seco del vástago y raíz para cada genotipo, en ambas condiciones hídricas. En todos los genotipos se observó disminución en la acumulación de biomasa seca en la condición de estrés hídrico; no obstante, el genotipo más afectado en la acumulación seca en vástago y raíz fue el 00-28, con una diferencia de 8 y 16 g respectivamente y con respecto a plantas en CC. Mientras los genotipos menos afectados correspondieron al 97-15 y 00-27.

Los genotipos presentaron diferente nivel de tolerancia a la quemadura de las hojas (Figura 5). Para el caso del nivel 1 de quemadura (sólo punta de hojas quemada) el genotipo 95-9 presentó mayor incidencia de quemaduras comparado con los otros genotipos para este mismo nivel; aunque el porcentaje fue bajo, pues no superó el 10%. Los niveles 2 y 3 de quemadura de hoja se mantuvieron relativamente bajos (menor a 5%) en todos los genotipos. Sin embargo, para el nivel 4 de quemadura (hoja totalmente quemada), fue el nivel con mayor frecuencia en todos los genotipos. No obstante, el genotipo 00-28 registró la mayor afectación por este tipo de daño en el 46.3 % de sus hojas, seguido por el 00-27, 97-14, 95-9 y finalmente por el 97-15 (con 15.6%).

En cuanto al índice de calidad de Dickson (ICD) no se registraron diferencias significativas entre la condición de las plantas en CC y PMP para la mayoría de los genotipos, excepto en el clon 00-28 (ICD=4.109 en CC y 2.199 en PMP) el cual registró disminución en la

calidad de planta de forma significativa, lo anterior implica que el aspecto de la planta es seriamente modificado por el estrés y que la pérdida de hojas, disminución de TCR y crecimiento de la raíz podrán estar contribuyendo a que el genotipo 00-28 sea uno de los materiales más susceptibles a la sequía, mientras que el 00-27 y sobre todo el genotipo 97-15 fueron más tolerantes.

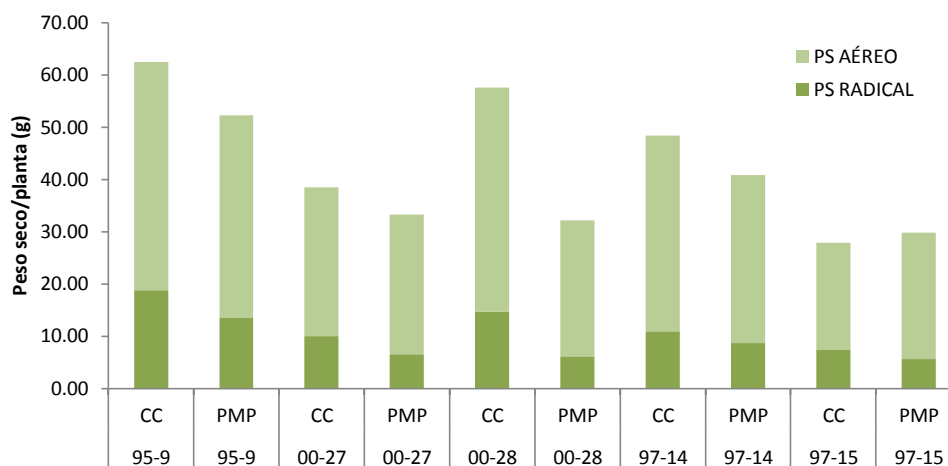


Figura 4. Peso seco de vástago y raíz de cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta a los 60 d después del riego de recuperación.

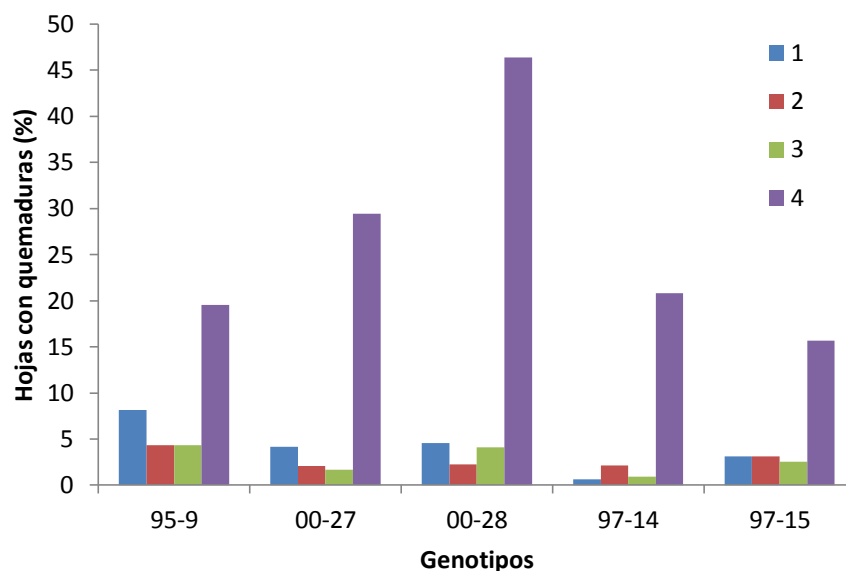


Figura 5. Porcentaje de hojas con diferente nivel de quemaduras en cinco genotipos de *Coffea canephora* P. var. Robusta en condición de PMP a los 20 ddr.

Conclusiones

Los genotipos de *Coffea canephora* presentan diferente grado de tolerancia al déficit hídrico. El nivel de tolerancia a sequía varía en función de la variable respuesta.

Los genotipos presentan diferentes mecanismos de tolerancia, tales como mayor longitud de raíz, mantenimiento de la TCR, acumulación de prolina y CRA. Lo cual repercute en el crecimiento de la planta, retención de hojas, prevención de quemaduras, acumulación de materia fresca e índice de calidad.

El genotipo más tolerante fue el 97-15, mientras que el más susceptible fue el 00-28.

Referencias Bibliográficas

AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C.). 2012. **Plan Integral de Promoción del Café de México** 2012. 63 p.

Barajas, R., J.E.; Aldrete, A., J.J.; Vargas, H.; López U., J. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. **Agrociencia** 38: 545-553.

Bates L. S. 1973. Rapid determination of free proline for wáter-stress studies. **Plant and Soil** 39:205-207.

DaMatta F. M., A. R. M. Chaves, H. A. Pinheiro, C. Ducatti and M. E. Loureiro. 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science** 164:111-117.

Frank E., H. Eakin and D. López-Carr. 2011. Social identity, perception and motivation in adaptation to climate risk in the coffee sector of Chiapas, Mexico. **Global Environmental Change** 21:66–76.

Gay C., F. Estrada, C. Conde, H. Eakin and L. Villers. 2006. Potential impacts of climatic change on agriculture: a case of study of coffee production in veracruz, Mexico. **Climatic Change** 79: 259–288.

Iracheta-Donjuan, L., 2002. Caracterización fisiológica, bioquímica e histológica de *Zea mays* L. *in vitro* al déficit hídrico. Tesis de Doctorado en Ciencias. **Colegio de Postgraduados. Montecillo**, Texcoco, Edo. De México. 212 p.

Lin B. B. 2009. Coffee (Café arabica var. Bourbon) Fruit Growth and Development Under Varying Shade Levels in the Soconusco Region of Chiapas, Mexico. **Journal of Sustainable Agriculture**, 33:1, 51-65.

Méndez S., J. L. 2012. Tolerancia a sequía en clones de *Coffea canephora* P. var. Robusta y su efecto en la embriogénesis somática. Tesina para obtener el título de Ingeniero profesional en cultivos celulares vegetales. **Universidad Tecnológica de La Selva**. Ocosingo, Chiapas. México. 64 p.

Pinheiro H. A., F. M. DaMatta, A. R. M. Chaves, E. P. B. Fontes and M. E. Loureiro. 2004. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science** 167:1307–1314

Pinheiro H. A., F. M. DaMatta, A. R. M. Chaves, M. E. Loureiro and C. Ducatti. 2005. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany** 96: 101–108.

Praxedes S. C., F. M. DaMatta, M. E. Loureiro, M. A. G. Ferrao and A. T. Cordeiro. 2006. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. Kouillou) leaves. **Environmental and Experimental Botany** 56:263–273.

Sáenz-Romero C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval and J. Beaulieu. 2012. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Michoacán state, México. Impacts on the vegetation. **Revista Fitotecnia Mexicana** 35 (4): 333-345.

Schroth G., P. Laderach, J. Dempewolf, S. Philpott, J. Hagggar, H. Eakin, T. Castillejos, J. Garcia M., L. Soto P., R. Hernandez, A. Eitzinger and J. Ramirez- Villegas. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change** 14:605–625.

Silva P. E. M., P. C. Cavatte, L. E. Morais, E. F. Medina and F. M. DaMatta. 2013. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany** 87: 49-57.