

Evaluación de propiedades físicas, químicas e hidrológicas en suelos manejados con maíz (*Zea mays*) y cinco programas de fertilización, La Montañona, Chalatenango, El Salvador

García-Rivera, BR^{1*}, Rodríguez-Urrutia, EA^{2**}, Arias, AY^{3**}, Barrera, ML^{4**}, Kearney Durango, SP^{5**}.

Resumen

La investigación se realizó en los municipios de Las Vueltas, La Laguna y Chalatenango (cantones de Guarjila y Upatoro), en la región de la Mancomunidad La Montañona, en el departamento de Chalatenango, en el periodo de mayo a noviembre 2015, para lo cual fue necesario montar ocho parcelas cultivadas con maíz (*Zea mays*) variedad H-59, se ubicaron dos parcelas en cada sitio: Las Vueltas, Guarjila, Upatoro y La Laguna. En cada parcela se realizó el análisis químico del suelo y de sus propiedades físicas.

El objetivo de la investigación fue evaluar las características físicas e hídricas del suelo y el efecto de cinco niveles de fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz. Se usó un modelo estadístico de Bloques al Azar, en ocho parcelas, con 48 repeticiones, los tratamientos fueron: tratamiento 1 se aplicó a cada planta una mezcla de 8.30 gramos de fórmula 15-15-15 más 13.40 g de Sulfato de amonio; en el tratamiento 2 se aplicó a cada planta lo mismo del tratamiento 1 más 1.30 g de Cloruro de potasio; en el tratamiento 3 las dosis de fertilizantes se aplicaron según los resultados de los análisis de suelo de cada una de las ocho parcelas; en el tratamiento 4 se aplicó a cada planta 2.10 g de fórmula 15-15-15, 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi; en el tratamiento 5 se aplicó a cada planta 125 g de Bocashi; y un Testigo en el cual no se aplicó ningún fertilizante.

Todos los suelos de las parcelas donde se realizó la investigación presentan un pH óptimo para el cultivo; la textura varió entre franco arenoso y franco arcillo arenoso; una densidad entre 1.19 g/cm³ a 1.57 g/cm³. La mayor producción de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 que rindió 42.92 qq/mz (2,786.54 kg/ha) y la menor producción fue con el tratamiento 5 con 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha). Durante la investigación se tuvo la presencia de una sequía como parte del fenómeno del Niño.

^{1*}Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7275-6694.gr05085@ues.edu.sv

^{2**} Director, Estación Experimental y de Prácticas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. (503)7318-0554. efrain.rodriguez@ues.edu.sv

^{3**}Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503) 7860-4900. yani_linares@hotmail.com

^{4**}Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7730-5930. marcia.barrera@ues.edu.sv

^{5**} Research Ecologist (Investigador de Ecología), USDA Agricultural Research Service. Estados Unidos. (197)04917-136. sean.kearney@usda.gov

Palabras clave: Fertilización, suelo, textura, densidad, pH, maíz, *Zea mays*, La Montañona, Chalatenango, El Salvador.

Abstract

The research was carried out in the municipalities of Las Vueltas, La Laguna and Chalatenango (Guarjila and Upatoro cantons), in the region of La Montaña Commonwealth, in the department of Chalatenango, in the period from May to November 2015, within the area working of the Canada-Latin America and The Caribbean Research Exchange Grants (LAGREG) project, in eight plots cultivated with corn (*Zea mays*) variety H-59, Two plots were located at each site: Las Vueltas, Guarjila, Upatoro and La Laguna. Chemical analysis of the soil and its physical properties was carried out in each plot.

The objective of the research was to evaluate the physical and water characteristics of the soil and the effect of five levels of fertilization on the yield of the corn crop. A statistical model of Random Blocks was used, in eight plots, with 48 repetitions, the treatments were: Treatment 1 a mixture of 8.30 grams of formula 15-15-15 plus 13.40 g of Ammonium Sulfate was applied to each plant; in treatment 2 the same was applied to each plant as treatment 1 plus 1.30 g of potassium chloride; In treatment 3, the doses of fertilizers were applied according to the results of the soil analyzes of each of the eight plots; In treatment 4, 2.10 g of formula 15-15-15, 3.30 g of Ammonium Sulfate and 62.50 g of Bocashi were applied to each plant; in treatment 5, 125 g of Bocashi was applied to each plant; and a Witness in which no fertilizer was applied.

All the soils of the plots where the research was carried out present an optimal pH for cultivation; the texture varied between sandy loam and sandy clay loam; a density between 1.19 g/cm³ to 1.57 g/cm³. The highest maize production was obtained with treatment 4 that yielded 42.92 qq/mz (2,786.54 kg/ha) and the lowest production was with treatment 5 with 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha). During the investigation, a drought was observed as part of the El Niño phenomenon.

Key words: Fertilization, soil, texture, density, pH, corn, *Zea mays*, La Montaña, Chalatenango, El Salvador.

I. Introducción

El sector agrícola ha ejercido un aporte primordial en el desarrollo económico de El Salvador, fundamentado por el cultivo de productos primarios de exportación como café (*Coffea arabica*), algodón (*Gossypium hirsutum*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), los cuales representaban la principal fuente de ingresos y generación de empleos de la zona rural, sin embargo, la agricultura salvadoreña y en especial el modelo agroexportador han sufrido múltiples transformaciones económicas, dichos cambios fueron causados por la implementación de una serie de políticas y leyes que han generado un constante deterioro del sector agrícola (Bukele *et al.* 2012).

Bukele *et al.* (2012) encontraron que la producción de alimentos en el país no ha sido suficiente para satisfacer la demanda interna, por lo que cada vez más se requiere de las importaciones para atender las necesidades domésticas de alimentación más que todo de maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), ya que estos granos representan la principal fuente de proteínas y calorías, especialmente de las familias rurales.

La producción de maíz en el departamento de Chalatenango, por años se ha realizado en suelos con pendientes muy elevadas, además no cuentan con un programa de fertilización que

cumpla con las necesidades de los cultivos, lo que incide en los bajos rendimientos de la cosecha.

En los últimos años, la producción de maíz se ha visto afectada tanto en terrenos planos como en ladera, y en donde se realizan prácticas como la quema de rastrojos se ha agravado el grado de erosión y la pérdida de fertilidad de los suelos, incrementando las plagas, enfermedades, alterando y colapsando el ciclo hidrológico, así como la reducción del volumen y diversidad biológica, por lo que en esta investigación se evalúan las propiedades físicas e hídricas del suelo en ocho parcelas experimentales, el rendimiento del cultivo y la morfología de las plantas de maíz.

Textura del suelo

Daniel y Jaramillo (2002) expresan que la textura del suelo es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina en el suelo; estas partículas llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: arena, limo y arcilla. Cada una de estas partículas se subdivide en fina, media y gruesa. Su fraccionamiento sigue una escala logarítmica con límites entre 0.002 y 2 mm, con un valor intermedio de 0.063 mm, la arena entre 0.063 y 2 mm; grava de 2 a 20 mm y piedra mayor de 20 mm.

Según USAID y ABES (2015), la textura del suelo en los municipios de la Mancomunidad La Montañona es relativamente similar entre ellos y predominan los suelos Franco Arenoso y Arcilloso. Las tasas de infiltración de agua también variaron considerablemente, pero fueron generalmente bajas e indican un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo.

Densidad aparente

Según Rubio (2010), la densidad aparente es el peso volumétrico o peso por unidad de volumen que comprende partículas sólidas y espacio poroso en el suelo seco. Esta propiedad física permite evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo.

Domínguez (2005) realizó experimentos con cultivo de maíz en Nicaragua y concluyó que la densidad aparente tiende a aumentar debido a la compactación causada por el pisoteo del ganado y la labranza inadecuada, y que a medida que el contenido de materia orgánica se incrementa, el valor de la densidad aparente disminuye; mientras que si la materia orgánica disminuye aumenta la densidad aparente. Lo anterior se debe a que la materia orgánica favorece la estructura del suelo, lo cual hace que aumente la porosidad y por ende el volumen del suelo, dando como resultado una disminución en la densidad aparente.

Permeabilidad

Angelone *et al* (2006) manifiestan que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos incluyendo las arcillas más compactas. Los suelos impermeables son suelos arcillosos donde la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta. Los factores que influyen en la permeabilidad de los suelos son la viscosidad del fluido (varía según la temperatura), el tamaño, continuidad de poros y grietas a través de los cuales pasa el fluido o la presencia de discontinuidades.

Cisneros (2003) menciona que la permeabilidad se ve afectada por la presencia de capas endurecidas, cambios texturales, presencia de materia orgánica, actividad microbiológica, paso de arado, otros. La labranza continua y el uso excesivo de maquinaria reduce la permeabilidad, mientras que el uso de labranza de conservación con la utilización de técnicas de aprovechamiento de agua, incorporación de residuos vegetales, estiércoles y otras técnicas, la permeabilidad se ve incrementada y la retención de agua se ve mejorada, por consiguiente, habrá un mayor uso racional del agua y de los recursos relacionados con la agricultura. Los suelos con permeabilidad lenta a moderadamente lenta presentan valores entre 0.0036 cm/h y 2 cm/h.

Propiedades químicas del suelo

Ramírez (1997) manifiesta que dentro de los procesos que se dan en el suelo, el más importante es el intercambio iónico. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción de arcilla y materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/100 g de suelo. El autor manifiesta que el pH es una de las propiedades físico-químicas más importantes en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. Además, determinan la concentración de iones tóxicos, las características de intercambio catiónico y las diversas propiedades encargadas de la fertilidad del suelo.

El pH influye en los elementos químicos de la siguiente manera: el nitrógeno depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos para su fijación en el suelo y dar el crecimiento de las plantas, la cual se da con pH cercanos a 7; en el caso del fósforo, si el pH es ácido la solubilidad del aluminio y hierro es alta, estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5; el calcio, magnesio y potasio aumentan la solubilidad con pH de 7 a 8.5; la disponibilidad del zinc y cobre se encuentra en pH entre 3.5 a 6.5 (Ramírez 1997).

Los niveles óptimos de estos elementos para el cultivo de maíz son: fósforo de 20.1 a 30 ppm, potasio mayor de 0 ppm, calcio 15.2 ppm, magnesio 17.6 ppm, zinc 0.1 ppm, y cobre 0.1 ppm (MAG-CENTA 1995).

Infiltración

Warren (1975) encontró que la infiltración es importante para escoger los sistemas de riego adecuados para un suelo. El agua que no puede infiltrar en el suelo forma parte de la escorrentía superficial, por lo que es importante conocer la capacidad de infiltración en las parcelas agrícolas para estimar la cantidad de agua que fluye a través de la escorrentía superficial.

Domínguez (2005) observó en Nicaragua que en los periodos secos en los suelos arcillosos tienden a formarse pequeñas grietas que facilitan la circulación del agua con mayor rapidez, por tanto, este comportamiento de la infiltración debe tomarse con precaución, sin embargo, el autor observó que en una de las parcelas con cultivo la infiltración es muy lenta, esto coincide con un alto grado de compactación en estos suelos, que restringe la penetración del agua.

USAID y ABES (2015) manifiestan que la tasa de infiltración de agua en los siete municipios de la Mancomunidad La Montañona varió considerablemente en los estudios que realizaron, pero fueron generalmente bajas e indicaron un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo, por lo que las propiedades físicas del suelo estaban menos relacionadas con la elevación, a diferencia de las propiedades químicas las cuales a menudo estuvieron correlacionadas con la elevación.

Fertilidad del suelo

En Chalatenango, El Salvador, la agricultura tradicional y la convencional se desarrolla en condiciones de laderas, como consecuencia, la erosión es una de las causas de destrucción de los recursos naturales, así como del fomento de la pobreza, ya que, áreas plantadas con cultivos anuales pueden perderse por efecto de las lluvias, el viento, las prácticas agrícolas como las siembras a favor de la pendiente, el monocultivo, la no consideración de la agroforestería, el uso de productos agroquímicos, la quema de parcelas agrícolas, dejar el suelo descubierto mucho tiempo, la no incorporación de materia orgánica permite la pérdida de nutrientes que la planta necesita para su desarrollo como nitrógeno, fósforo, potasio y muchos kilogramos de micronutrientes, entre otros (Vieira 2000).

Restrepo (1994) manifiesta que las defensas de los vegetales están determinadas por una nutrición equilibrada, la cual impide la acumulación de sustancias nutritivas (para los heterótrofos, azúcares y aminoácidos libres) en la savia o citoplasma; y que el mejor control de insectos y enfermedades se logra por el manejo orgánico del suelo y un conjunto de prácticas que le proporcionan a la planta condiciones propicias para un desarrollo sano.

Los resultados de miles de demostraciones y de ensayos llevados a cabo en fincas de agricultores bajo el primer Programa de Fertilizantes de la FAO, que cubrió un período de 25 años en 40 países, mostró que el aumento promedio ponderado del mejor tratamiento de fertilizantes para ensayos de trigo era alrededor del 60%. La eficiencia de los fertilizantes y la respuesta de los rendimientos en un suelo particular pueden ser fácilmente analizadas agregando diferentes cantidades de fertilizantes en parcelas adyacentes, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos (FAO 2002).

Cultivo de maíz

En el año 2004 el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) libera el maíz H-59, que además de ser resistente a las condiciones climáticas de El Salvador, posee un alto potencial de rendimiento y niveles superiores de aminoácidos esenciales como Lisina y Triptófano, por lo que se le denomina de Alta Calidad Proteica (ACP). Además de su alto potencial proteico es aceptado por los agricultores por el tamaño y peso del grano, peso de la mazorca, grosor de la caña, altura de la planta y follaje. En cuanto al consumo de tortillas, tiene las mismas características del maíz H-3 y H-5, con la ventaja de tener un color más blanco (Deras 2008).

Por lo que en esta investigación se evaluó la infiltración y permeabilidad del suelo, se tomaron datos de la densidad aparente de los cuatro sitios de estudio, se llevó un monitoreo constante de las precipitaciones en las parcelas, de la morfología de las plantas y al final de la investigación se evaluó el rendimiento de la cosecha.

II. Metodología

Contexto geográfico y temporal

La investigación se realizó entre los meses de mayo a noviembre de 2015, en 8 parcelas ubicadas en los municipios de la Mancomunidad La Montañona: 2 parcelas se ubicaron en el municipio de Las Vueltas; 2 parcelas en el municipio de La Laguna; y 4 parcelas se ubicaron en el municipio de Chalatenango, 2 en el cantón Guarjila y 2 en el cantón Upatoro. Los ensayos de fertilización del suelo se realizaron dentro del área que delimitada por el proyecto Canadá-Latin America and the Caribbean Research Exchange Grants (LAGREG).

Materiales y métodos

En la investigación se usaron: tamiz de 2 mm para el tamizaje de muestras del suelo (determinación de textura), cronómetro, probetas de 100 ml, agitadores de vidrio para mantener la muestra de suelo en suspensión constante mediante la agitación, batidora para homogenizar la muestra, agua destilada, hidrómetro de Bouyoucos, termómetro, agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio) para separar las partículas de limo y arcilla, muestras de suelo secadas al aire y tamizadas, boletas de campo, GPS, cintas métricas, cámara fotográfica, cubetas, banderillas, costales, bolsas, barrenos, cilindros de infiltración, permeámetro de Guelph e insumos agrícolas.

En cada parcela experimental se realizaron análisis químico del suelo para los parámetros de fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre, así como propiedades físicas como textura, densidad aparente, infiltración y prueba de permeabilidad.

Los tratamientos que se aplicaron en cada uno de los bloques al azar se presentan en el cuadro 1; y en el cuadro 2 está la dosis de fertilizante que se aplicó en el tratamiento 3 en cada una de las 8 fincas experimentales.

Diseño y análisis estadístico

Se usó el modelo estadístico de Bloques al Azar, el cual permitió analizar la variación total de los cinco tratamientos en las 8 fincas y los componentes fueron los siguientes: variación entre bloques (cada bloque correspondió a una unidad de estudio en cada finca), variación entre unidades experimentales por efecto de los tratamientos y variación dentro de las unidades experimentales (errores experimentales). Se evaluaron 6 tratamientos incluyendo al Testigo (cuadro 1 y 2), en 4 sitios, haciendo un total de 8 parcelas con 48 repeticiones, cada parcela fue de 10 x 30 metros (m) y las subparcelas de 10 x 5 m. El método estadístico que se utilizó para el análisis de los resultados fue el Análisis de Varianza (ANOVA) y para un mejor detalle de los resultados sobre las diferencias entre medias específicas se utilizó el método de comparaciones múltiples (Tukey).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización, dosis y criterios de aplicación que se utilizaron en la investigación

Tratamiento	Fertilizante	Dosis por subparcela (kg)	Dosis por planta (gramos)	Criterio para aplicación de dosis
Tratamiento 1	Fórmula 15-15-15	3,956	8.30	Dosis de fertilizante que utilizan los productores en la zona.
	Sulfato de amonio (NH ₄) ₂ SO ₄ (21% N y 24% S)	6,378	13.40	
Tratamiento 2	Fórmula 15-15-15	3,956	8.30	Dosis máxima de potasio recomendada por CENTA
	Sulfato de amonio	6,378	13.40	
	Cloruro de potasio o fórmula 0-0-60 (KCl)	0.626	1.30	
Tratamiento 3	Las dosis de fertilizantes se aplicaron según los resultados de los análisis de suelo de cada una de las 8 fincas (cuadro 2).			Usando el programa QUEFTS Basic, elaborado por el Dr. Marius Heinen de Wageningen UR Alterra.
Tratamiento 4	Bocashi		62.50 (50% de 125 g)	Basado en el 25% de la dosis de fórmula 15-15-15 y de Sulfato de amonio de T1 y 50% de la dosis de Bocashi de T5
	Fórmula 15-15-15	0.99	2.10 (25% de 8.30 g)	
	Sulfato de amonio	1.594	3.30 (25% de 13.40 g)	
Tratamiento 5	Bocashi	29.763	125	Basado en la dosis de bocashi que aplican en los experimentos de ABES y en las recomendaciones del productor de bocashi
Tratamiento 6 o Testigo	No se aplicó nada.		0	No se aplicó ningún fertilizante

Fuente: Elaboración propia (2016).

Cuadro 2. Dosis de fertilizantes aplicados por finca en el Tratamiento 3 (T3) según los resultados de los análisis de suelo.

Finca	Sulfato de amonio		Fórmula 15-15-15		Cloruro de potasio o fórmula 0-0-60	
	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)
Finca 1	0.00	1.30	0.99	17.40	1.80	
Finca 2	0.00		8.15	17.10	3.22	5.30
Finca 3	0.00		0.00		1.80	3.80
Finca 4	0.99	2.10	0.00		3.22	6.80
Finca 5	0.00		0.00		0.24	0.10
Finca 6	0.00		0.00		0.07	0.50
Finca 7	2.56	5.40	1.45	3.10	1.45	3.10
Finca 8	1.63	3.40	6.60	13.40	1.73	1.30

Fuente: Elaboración propia (2016).

III. Resultados y discusión

Producción de maíz

Los resultados indican que el tratamiento con el cual se obtuvo los mejores rendimientos fue el tratamiento 4 con una productividad de 42.92 qq/mz, que equivale a 2,786.54 kg/ha; seguido por el tratamiento 3 con 41.29 qq/mz (2,681.10 kg/ha); luego el tratamiento 1 con un rendimiento de 38.08 qq/mz (2,472.48 kg/ha); el tratamiento 2 con una productividad de 37.70 qq/mz (2,447.81 kg/ha); el tratamiento 6 o Testigo con 34.33 qq/mz (2,229.00 kg/ha); y el menor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 5 en 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha), el error no es significativo ya que fue 0.05 (figura 1).

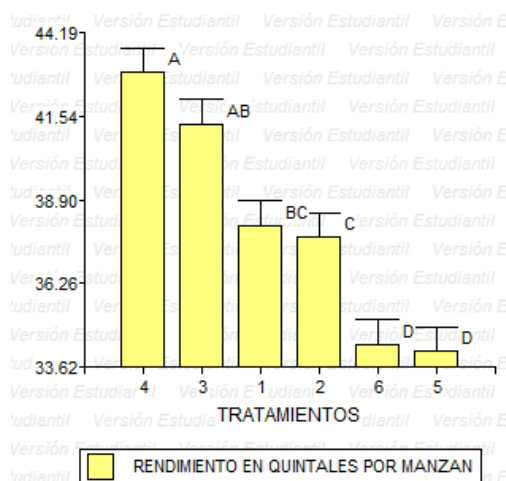


Figura 1. Rendimiento en quintales por manzana en los 6 tratamientos.

El mayor rendimiento de maíz por finca se obtuvo en la finca 6 de Las Vueltas con 42.92 qq/mz, que equivale a 2,786.54 kg/ha; seguido por la finca 8 de Guarjila con una productividad de 39.76 qq/mz (2,581.56 kg/ha); luego la finca 7 de Guarjila con 38.81 qq/mz (2,519.88 kg/ha); la finca 3 de Upatoro con un rendimiento de 38.26 qq/mz (2,484.17 kg/ha); la finca 2 de La Laguna con 37.27 qq/mz (2,419.89 kg/ha); la finca 1 de La Laguna con una productividad de 36.65 qq/mz (2,379.63 kg/ha); la finca 4 en Upatoro con 36.62 qq/mz

(2,377.68 kg/ha); y el menor rendimiento se tuvo en la finca 5 en Las Vueltas con 35.24 qq/mz (2,288.08 kg/ha), con un error de 0.05.

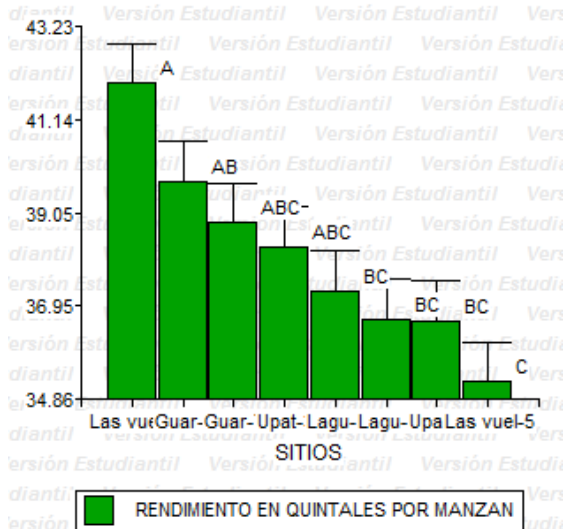


Figura 2. Rendimiento en quintales por manzana en las 8 fincas.

Según el MAG-CENTA (2004), la producción de maíz de la variedad H-59 es de 5,843.57 kg/ha; sin embargo, debido a la sequía severa en el año 2015 a nivel nacional, el MAG-CENTA (2016) reportó que la cosecha de esta variedad fue de 2,512.73 kg/ha.

El promedio de la producción de maíz reportado por USAID *et al* (2015) es de 1,500 kg/ha; y al comparar estos resultados con la cosecha obtenida en esta investigación, los rendimientos son mejores.

El análisis estadístico de la producción de maíz indica que entre tratamientos en las 8 fincas, el Tratamiento 6 o Testigo presentó la menor cosecha con una media de 20.30, y el mayor rendimiento entre fincas se presentó en el Tratamiento 5 con una media de 30.96, la diferencia no fue significativa con un valor menor de 0.05. En el cuadro 3 se logra apreciar las diferencias que existieron en forma ascendente entre los 6 bloques en cada una de las fincas experimentales.

Cuadro 3. Análisis estadístico de la producción de maíz en quintales (qq).

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 21.80020
Error 213.3143 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E	
6.00	20.30	8	5.16	A
1.00	23.71	8	5.16	A
2.00	26.22	8	5.16	A
4.00	30.71	8	5.16	A
3.00	30.80	8	5.16	A
5.00	30.96	8	5.16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Elaboración propia (2016).

La comparación entre las 8 fincas indica que la finca 3 ubicada en Upatoro presenta la menor media con 13.46, la mayor media se observa en la finca 5 ubicada en Las Vueltas con 46.94, el valor no es significativo ya que tienen una diferencia menor de 0.05 (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis estadístico de la cosecha de maíz en cada finca.

Test: Tukey Alfa = 0.05 DMS = 19.86392

Error: 115.8514 gl: 40

Finca	Medias	n	E.E			
3.00	13.46	6	4.39	A		
4.00	16.51	6	4.39	A	B	
6.00	20.13	6	4.39	A	B	
7.00	25.61	6	4.39	A	B	
8.00	25.80	6	4.39	A	B	
1.00	32.20	6	4.39	A	B	C
2.00	36.28	6	4.39		B	C
5.00	46.94	6	4.39			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Elaboración propia (2017).

Precipitación en la zona de estudio

En el municipio de Las Vueltas el promedio de precipitación por día fue de 20.39 mm, con un mínimo de 5 mm y un máximo de 50 mm (figura 3). El acumulado en el mes de julio del año 2015 fue de 122 mm, en agosto 105 mm, en septiembre 205 mm, en octubre 220 mm y en el mes de noviembre 225 mm, totalizando 877 mm para los 5 meses registrados. En este municipio se registraron 24 días sin precipitación en el mes de octubre cuando el cultivo ya había terminado su ciclo vegetativo.

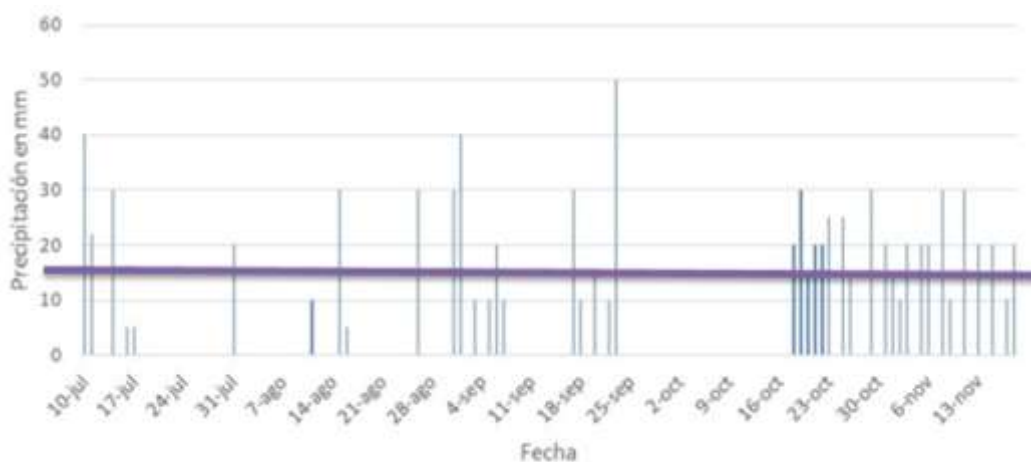


Figura 3. Precipitación por día en Las Vueltas para el año 2015.

En Guarjila el promedio de precipitación diaria es de 26.84 mm, un mínimo de 5 mm y un máximo de 90 mm (figura 4). En el mes de junio del 2015 se tuvo un acumulado de 10 mm, en julio 105 mm, agosto 152 mm, en septiembre 247 mm, octubre 697 mm y en noviembre el acumulado fue de 185 mm. En este sitio se registró un periodo de 18 días sin lluvia en julio cuando el cultivo estaba en época de floración y 19 días sin lluvia en septiembre cuando el cultivo había terminado su ciclo.

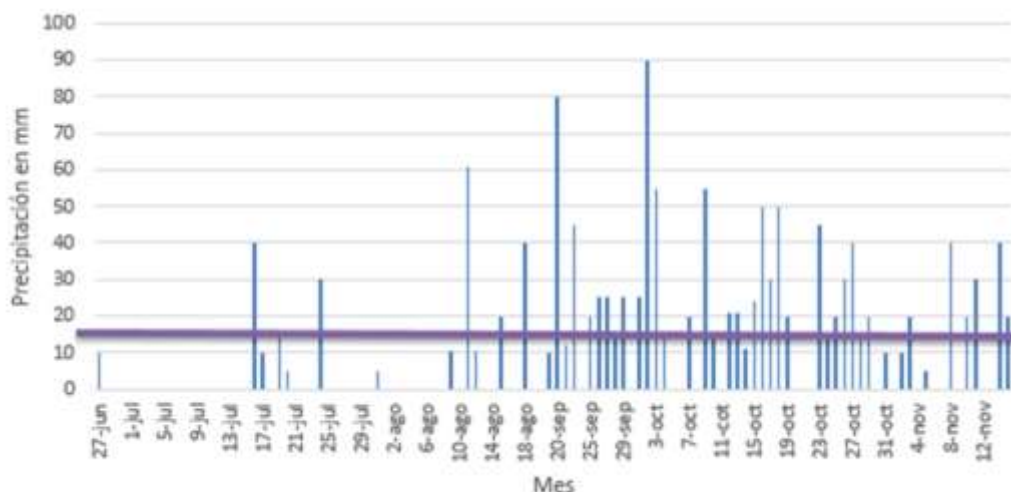


Figura 4. Precipitación por día en Guarjila para el año 2015.

Según el MARN (2018), en el año hidrológico 2015-2016 se presentó una sequía fuerte en la mayor parte de El Salvador, debido al fenómeno de El Niño (los registros indican más de 15 días sin precipitaciones durante los meses de lluvia), por lo que la lluvia de ese año es inferior a la lluvia normal.

El IICA (1995) manifiesta que cuando los cultivos de maíz tienen deficiencia de agua en el periodo de floración puede reducir la producción en un 25%.

A pesar de la falta de lluvia que se reportó durante la realización de esta investigación, el impacto no fue tan fuerte, ya que en comparación con el rendimiento para el maíz H59 (MAG-CENTA 2004), en las parcelas ubicadas en Guarjila se obtuvo una cosecha de 41.85%; en Las Vueltas ya había pasado la época de floración del cultivo cuando se presentó la sequía, por lo que no afectó la cosecha y se obtuvo una producción de 45.17% en comparación con el 100% de rendimiento para la variedad de maíz que se utilizó en esta investigación. Además, los sistemas agroforestales que los agricultores tienen en sus parcelas y las labores culturales que realizan como mantener las malezas junto con los cultivos y dejar los rastrojos en las parcelas, contribuyeron a disminuir los efectos de la sequía.

De acuerdo a Cisneros (2003), en la producción de maíz son útiles sólo las lluvias mayores a 15 mm, es decir, si cae una lluvia de 20 mm se considera como haber aplicado un riego de 5 mm. Además, en los días con temperaturas altas, vientos fuertes y aire seco, se provocan mayores pérdidas de agua en el suelo y mayor consumo por las plantas. En las parcelas estudiadas, los registros de precipitación diaria indican que cuando hay lluvia se suple la necesidad de agua para la planta, favoreciendo su desarrollo. La dificultad se presenta con la presencia de varios días consecutivos sin lluvia.

Diámetro de tallos

Los resultados demuestran que los tratamientos 2 y 3 presentan los mayores diámetros de los tallos en las plantas de maíz muestreadas en las 8 fincas con un valor de 2.45 cm, y el tratamiento 6 o Testigo presentó los menores diámetros con 2 cm (figura 5).

El análisis de varianza por finca permite afirmar que no existe diferencia significativa en el diámetro del tallo de las plantas de maíz, ya que la diferencia es menor a 0.05 y solo una finca de Upatoro presenta un diámetro menor, mientras que el mayor diámetro se registra en una finca de Las Vueltas; lo cual demuestra que el diámetro de tallo no se vio afectado por el estrés hídrico al que estuvo sometido.

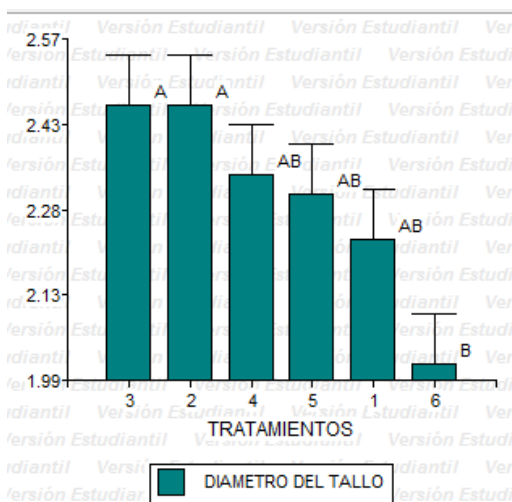


Figura 5. Análisis de varianza del diámetro del tallo por tratamiento.

Altura de las plantas

La mayor altura de las plantas de maíz se registró en el tratamiento 4 con 2.8 metros y la menor altura en los tratamientos 5 y 6 con 1.62 m. En el tratamiento 3 se logró una altura de planta de 1.85 m, en el tratamiento 1 y 2 se registran alturas de 1.77 m (figura 6).

Serna, Trujillo & Urrea (2011) mencionan que la reacción de las plantas ante la aplicación de un fertilizante es clara y significativa al momento de evaluar la altura de la planta, lo cual se observó en esta investigación, ya que al aplicar la mezcla de Bocashi, fórmula 15-15-15 y sulfato de amonio, se obtuvieron los mejores resultados.

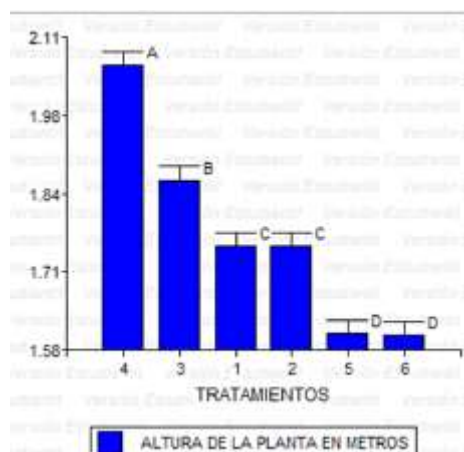


Figura 6. Análisis de varianza para altura de plantas por tratamiento.

Efecto del pH en el rendimiento de los cultivos

De las 8 fincas o parcelas analizadas solo la finca 8 que está ubicada en Guarjila presenta el pH más bajo con un valor de 5.3 (cuadro 5). En todas las demás fincas el pH se encuentra dentro del rango óptimo de 5.5 a 7 (MAG-CENTA 1995).

Según el MAG-CENTA (1995), los suelos que presentan valores de pH inferiores a 5.5 a menudo tienen problemas de toxicidad por aluminio y magnesio, además de carencia de fósforo. Suelos con pH superior a 8 tienden a presentar carencia de hierro, magnesio y zinc. Por lo tanto, los suelos de la mancomunidad La Montañona cuentan con un nivel óptimo de pH para el cultivo de maíz.

Cuadro 5. Resultados de pH según los análisis de suelo.

Finca	sitio	pH
F1	La Laguna	5.8
F2	La Laguna	5.5
F3	Upatoro	6.1
F4	Upatoro	5.7
F5	Las Vueltas	6.5
F6	Las Vueltas	5.7
F7	Guarjila	5.6
F8	Guarjila	5.3

Fuente: Elaboración propia (2016).

Efecto de la textura del suelo en el rendimiento de los cultivos

En los resultados de los análisis de suelo que se realizaron en las 8 fincas experimentales se obtuvo que en la finca 1, 2, 5, 6, 7 y 8 la textura del suelo es Franco arenoso, por lo que los suelos de estas fincas tienen un nivel de fertilidad medio de materia orgánica, con un porcentaje alto de fósforo y bajo en potasio; y en las fincas 3 y 4 ubicadas en Upatoro la textura del suelo es Franco arcillo arenoso, estos suelos tienen materia orgánica media, con bajo porcentaje de fósforo y media de potasio.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por USAID y ABES (2015), quienes manifiestan que la textura del suelo en los municipios de la Mancomunidad La

Montañona es similar entre ellos y predominan las texturas Franco arcillo arenoso y Franco arenosos.

Densidad aparente

La densidad aparente en las parcelas ubicadas en las cuatro zonas de la investigación está por arriba de 1 g/cm^3 , por lo que estos suelos retienen poca humedad (cuadro 6).

Cuadro 6. Densidad aparente en las fincas de investigación.

Finca	Densidad aparente promedio
F1 y F2 (la laguna)	1.57 g/cm^3
F3 y F4 (upatoro)	1.55 g/cm^3
F5 y F6 (las vueltas)	1.56 g/cm^3
F7 y F8 (guarjila)	1.19 g/cm^3

Fuente: Elaboración propia (2016).

Según Rubio (2010), la densidad aparente para el crecimiento de las raíces varía según la textura que presenta el suelo y de la especie que se trate. Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

Permeabilidad

Las parcelas ubicadas en La Laguna tiene una permeabilidad muy rápida, y las ubicadas en Upatoro y Guarjila presentan una permeabilidad lenta, por lo que el agua tarda más tiempo en llenar los poros del suelo (cuadro 7).

Cuadro 7. Permeabilidad del suelo en las parcelas de muestreo.

Municipio	kfs (cm/h)	Evaluación
La Laguna	14.01	muy rápida
Upatoro	0.14	lenta
Guarjila	1.94	lenta

Fuente: Elaboración propia (2016).

Vega (2007) expresa que los suelos con permeabilidad muy rápida presentan valores entre 3.6 cm/h y 36 cm/h , lo cual coincide con los valores obtenidos en esta investigación.

Infiltración

El 100% de los suelos muestreados tienen una infiltración por debajo de 40 cm/hora (cuadro 8), por lo que se considera que presentan una infiltración moderada, debido a que los suelos de las parcelas en La Laguna y en Guarjila son suelos Franco arenoso, y en Upatoro son suelos Franco arcillo arenosos.

Palacios *et al* (2003) manifiestan que los suelos con textura franco arenosa y franco arcillo arenosa presentan una infiltración moderada.

Según USAID y ABES (2015), la tasa de infiltración de agua en los siete municipios de la Mancomunidad La Montañona varió considerablemente en los estudios que realizaron, pero fueron generalmente bajas e indicaron un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo.

Cuadro 8. Infiltración en las parcelas de muestreo.

Lugar del muestreo	Infiltración (cm/h)
La Laguna	33.04
Upatoro	36.53
Guarjila	19.58

Fuente: Elaboración propia (2016).

Al tener una infiltración moderada, el suelo tiene una mejor distribución de la lluvia en el perfil del suelo, esto reduce los riesgos de pérdida por evaporación, lixiviación o escorrentía. De esta manera, el agua como medio de transporte de nutrientes llega a las raíces más profundas teniendo un mejor desarrollo del cultivo.

IV. Conclusiones

El tratamiento 4 presenta el mayor rendimiento con 42.92 qq/mz (2,786.54 kg/ha), el cual consistió en aplicar a cada planta 2.10 g de fórmula 15-15-15, más 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi.

La menor producción se obtuvo en el tratamiento 5 con 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha), el cual consistió en aplicar 125 g de fertilizante orgánico Bocashi por planta.

La textura del suelo de las parcelas ubicadas en La Laguna, Las Vueltas y Guarjila es Franco arenoso y las ubicadas en Upatoro son Franco arcillo arenoso, con pH dentro del rango óptimo para el cultivo de 5.5 a 7.8, con porcentajes de fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre mayores a los niveles óptimos que demanda el cultivo.

Los terrenos de las fincas donde se estableció esta investigación en el municipio de La Laguna tienen permeabilidad muy rápida y en los municipios de Las Vueltas y Chalatenango tienen permeabilidad lenta.

La mayor altura de las plantas de maíz se registró en el tratamiento 4 con 2.8 m, y la menor se presenta en los tratamientos 5 y 6 con 1.62 m, por lo que la aplicación de Bocashi tiene que ir acompañada con fertilizante químico para lograr buenos resultados en lapsos de tiempo cortos; si solo se quiere aplicar fertilizante orgánico es necesario hacer aplicaciones en un periodo de tiempo más largo desde antes de la siembra del cultivo para obtener buenos resultados.

Los rendimientos en la producción de maíz en todas las fincas fue afectada por la falta de lluvia durante el desarrollo del cultivo y en la época de floración, que en algunos casos supero los 15 días consecutivos sin agua; pero debido al manejo agroforestal y de conservación que

realizan los agricultores, como las prácticas de no quema, manejo de rastrojos, árboles dispersos, cercas vivas, árboles al contorno de las parcelas de maíz, entre otros, realizadas en años anteriores por el proyecto ABES, las plantas de maíz lograron tolerar la sequía que se presentó en la zona durante la investigación, obteniendo una cosecha de 41.85%.

V. Agradecimientos

Al Dr. Sean Patrick Kearney de Faculty of Land and Food Systems Vancouver Campus, Canadá y al Dr. Reynaldo López Landaverde por todos sus aportes durante todo el proceso de esta investigación.

Al Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares y a la Ing. M. Sc. Marcia de Calderón de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, por sus aportes.

VI. Bibliografía

Angelone, S; Garibay, M; Cauhapé, M. 2006. Geología y Geotecnia permeabilidad de suelos. Argentina, Universidad Nacional de Rosario. 39 p.

Bukele, R; Lozano, F; Molina, C. 2012. Análisis del deterioro de la agricultura en El Salvador a partir del proceso de liberalización económica de los 90. Tesis Lic. en Economía. El Salvador, C. A. UCA. 130 p.

Cisneros, A. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Tesis Dr. México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 164 p.

Daniel, F; Jaramillo, J. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Colombia, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 p

Deras, H. 2008. Híbridos de maíz de alta calidad proteica oro blanco y platino, El Salvador, C.A. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 16 p.

Domínguez, J.; Ressia, J.M.; Jorajuría, D.; Balbuena, R.; Mendivil, G. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Argentina. 115 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2002. Los fertilizantes y su uso. Estados Unidos. 83 p.

IICA (Instituto interamericano de cooperación para la agricultura). 1995. Maíz: sistemas de producción. Uruguay. 188 p.

MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, EL Salvador). 2016. Anuario de estadísticas agropecuarias, El Salvador. El Salvador, C.A. 101 p.

MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, EL Salvador). 2004. Anuario de estadísticas agropecuarias, El Salvador. El Salvador, C.A. 101 p.

MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 1995. Guía técnica; programa granos básicos Cultivo de maíz. El Salvador, C.A. 21 p.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018. Informe especial sequía meteorológica. El Salvador. Consultado 05 de febrero del 2019. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/informe-especial-sequia-meteorologica>

Palacio, A; Afonso, P; Silva, R; Bautista, E; Posada, G; Val, R. 2003. Diagnóstico de riesgos por inundación para la ciudad de Campeche. México. 107 p.

Ramírez, R. 1997. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Colombia. 24 p.

Restrepo, R. 1994. Plantas enfermas por el uso de agrotóxicos. Colombia. 45 p.

Rubio, G. 2010. La densidad aparente en suelos (en línea). España. Consultado 15 de junio. de 2015. Disponible en <http://digital.csic.es>

Serna, C; Trujillo, L; Urrea, R. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays*) a la aplicación edáfica de N-P-K en un andisol de la región centro-occidente de caldas. Colombia. 20 p.

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo); ABES (Agroforestería para la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, El Salvador). 2015. Evaluación del suelo para la producción agrícola La Mancomunidad La Montañona. Consultado 17 de Junio de 2016. Disponible en <http://lfs-abesproj.sites.olt.ubc.ca/files/2015/04/BLA-Folleto-2VER5.pdf>

Vega, J. 2007. Analisis de las potencialidades de los suelos de la comuna de melipilla, identificando zonas aptas para la disposición final de biosolidos, región metropolitana, Santiago, Chile. 194 p.

Vieira, M; Ochoa, B; Fischler, M. 2000. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera. Holanda. 136 p.

Warren, F. 1975. Física de suelos. Editorial IICA. Costa Rica. 212 p.