

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

Horticultura urbana orgánica en contenedor: Comparación de medios de cultivo y tamaño de contenedor.

presentado por

Amaia Garcia Tabar *(e)k*

aurkeztua

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIARITZAN**

Junio, 2018 / *Ekaina, 2018*

Director: Inazio Irigoien Iriarte.

Codirector: Joseba Sanchez Arizmendiarieta.

Key words: Compost and vermicompost, urban horticulture, substrate, tomato, container size.

Palabras clave: Compost y vermicompost, horticultura urbana, sustrato, tomate y tamaño de contenedor.

Hitz gakoak: konposta eta bermikonposta, hiriko nekazaritza, substratu, tomatea, edukiontzi tamaina.

Abstract

Urban horticulture is a booming practice across the planet. Currently more than 50% of the world's population lives in urban areas where the supply of fresh food is expensive, limited and entails significant environmental impacts. At the same time, for the optimization of urban environments, it is necessary the greening and oxygenation of new urban spaces such as balconies, terraces and walls. In addition to the health and environmental aspects, urban horticulture brings important social advantages, contributing to the creation of social communities, meeting spaces and encouraging active leisure and even the local economy.

In this context, ecological urban horticulture in container is being promoted using substrates of organic crops. Being able to solve the problem of organic waste management, managing them to obtain these substrates. However, the development of containerized culture in urban spaces, generates important technical doubts that must be resolved experimentally.

In this paper, an experimental essay is presented in which the production of fresh tomato obtained in containers of 8, 16 and 24 liters, filled with different proportions of three organic substrates (peat, compost and vermicompost) is evaluated. The effect of the complementary application of synthetic mineral fertilizers on the obtained productions is also evaluated.

After its realization it is concluded that, the size of container influences the productions, that mineral supplementation is necessary depending on the objectives set and that each compost must be studied individually to be able to find the optimum employment rate.

Resumen

La horticultura urbana es una práctica en auge en todo el planeta. Actualmente más del 50% de la población mundial reside en entornos urbanos en los que el aprovisionamiento de alimentos frescos es caro, limitado y conlleva importantes impactos ambientales. A su vez, contribuye a la amabilización de los entornos urbanos reverdeciendo y oxigenando balcones, terrazas, muros y paredes. Además, la horticultura urbana, aporta importantes ventajas sociales, creando comunidades sociales, espacios de encuentro y fomentando el ocio activo e incluso la economía local.

En este contexto se está potenciando la horticultura urbana ecológica en contenedor utilizando sustratos orgánicos como soporte de cultivo. Los residuos orgánicos generados en las ciudades, adecuadamente compostados *in situ*, pueden formar parte de estos sustratos de cultivo. De esta manera, se posibilita solucionar la problemática de gestión de residuos orgánicos en el propio lugar donde se han generado y contribuir a que las ciudades, sean más circulares, autónomas y resilientes.

Sin embargo, desde el punto de vista técnico, el desarrollo del cultivo en contenedores en espacios urbanos genera importantes dudas técnicas que es necesario resolver de manera experimental.

En este trabajo, se presenta un ensayo experimental en el que se evalúa la producción de tomate obtenida en contenedores de 8, 16 y 24 litros, rellenos con distintas proporciones de compost, vermicompost, turba y perlita. También se evalúa el efecto en el rendimiento del tomate de la aplicación complementaria de fertilizantes minerales de síntesis.

Tras su realización se concluye que el tamaño de contenedor influye en las producciones, que la suplementación mineral es necesaria dependiendo de los objetivos marcados y que cada compost debe de estudiarse individualmente, para poder encontrar la proporción óptima de empleo.

Laburpena

Gaur egun, munduko biztanleriaren %50a baino gehiagok hiriko inguruneetan bizi gara, eta honen nekazaritza (hiriko nekazaritza), goraka doa azken aldi honetan. Hiriko ingurune hauetan janari freskoen hornidura garestia eta mugatua da, eta honek ingurumeneko inpaktu esanguratsuak eragiten ditu. Aldi berean, nekazaritza mota honek, hiriko inguruneak oxigenatzen ditu eta balkoi, terrazak eta hormak berdetzen laguntzen du. Horrez gain, hiri-baratzeak abantaila sozial garrantzitsuak eskaintzen ditu, hala nola gizarte-komunitateak, topaketa guneak, aisialdi aktiboak eta lekuko ekonomia sustatzen ditu.

Testuinguru honetan, hiriko nekazaritza ekologikoa substratu organikoak dituen edukiontzien erabileraren bidez sustatzen ari da. Hirietan sortutako hondakin organikoak, hirian bertan ongi konpostatuz, laborantza substratu horiek ordezkatu ditzakete. Modu honetan, hondakinen kudeaketaren inguruan dugun arazo larriaren eragin kaltegarriak murriztu ditzakegu. Gainera, horrela, hiriak autonomoagoak ("zirkularragoak") izatea lor dezakegu. Dena den, ikuspuntu tekniko batetik, substratu organikoak dituzten edukiontzien bidezko hiriko nekazaritza ekologiko honen inguruan, erantzun gabeko galdera ugari daude oraindik eta hauek, esperimentera, erantzuteko beharra eta aukera, dugu.

Lan honetan, saiakuntza esperimental bat aurkezten da. Zortzi, 16 eta 24 litroko lorontzietan lortutako tomate produkzioa ebaluatzen da. Lorontziak betetzeko turba, perlita, komposta eta bermikonposta proportzio desberdinetan erabili dira. Ongarritze mineralaren beharra ere ebaluatzen da.

Ikerketa honen emaitzen esanetan, lorontzi tamainak produkzioan eragina du. Jarritako helburuen arabera, ongarritze minerala batzuetan beharrezkoa da, eta konpost bakoitza indibidualki aztertu behar da proportzio optimoa aurkitzeko.

Contenido

Abstract	1
Resumen.....	1
Laburpena.....	2
1. Introducción.....	8
1.1 Horticultura urbana	8
1.2 Horticultura urbana orgánica.....	10
1.3 Aprovechamiento de residuos orgánicos <i>in situ</i>	12
1.4 Compost como sustratos	13
2. Antecedentes.....	14
3. Objetivos.....	15
4. Material y métodos	15
5. Resultados y discusión	17
5.1 Producción total (PT)	17
5.1.1 Comparación tamaño de contenedor	17
5.1.2 Comparación porcentaje de perlita, compost o vermicompost en el medio de cultivo ..	20
5.1.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica	22
5.1.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado	25
5.2 Número de tomates (NT)	27
5.2.1 Comparación tamaño de contenedor	28
5.2.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en el medio de cultivo ..	30
5.2.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica	32
5.2.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado	34
5.3 Peso medio tomates (PM)	37
5.3.1 Comparación tamaño de contenedor	37
5.3.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en el medio de cultivo ..	39
5.3.3 Comparación fertilización mineral y orgánica.....	42
5.3.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado	44
5.4 Duración de la producción (D)	46
5.4.1 Comparación tamaño de contenedor	46
5.4.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en medio de cultivo	49
5.4.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica	51
5.4.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado	53
6. Conclusiones.....	55
7. Referencias	56
Anexo 1: Diseño experimental	58

Listado de figuras y tablas

Tabla 1. Evolución de la producción Ecológica en España 1991-2015, número de operadores total (MAPAMA, 2016a, p. 2).....	11
Tabla 2. Evolución de la producción Ecológica en España 1991-2015, superficie (MAPAMA, 2016a, p. 3).	11
Figura 1. Evolución consumo de productos ecológicos en España 2003-2015 (MAPAMA, 2016, p. 24)....	12
Tabla 3. Numeración de las unidades experimentales empleadas.....	15
Tabla 4. Caracterización de los componentes de los medios de cultivo.....	16
Tabla 5. Resultados de la media producción total (g/planta).....	17
Figura 2. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.....	18
Figura 3. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.....	18
Figura 4. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.....	19
Tabla 6. Resultados análisis de varianzas y medias para la producción total	19
Tabla 7. Resultados de correlación para la producción total	20
Figura 5. Influencia de la proporción de perlita en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	20
Figura 6. Influencia de la proporción de compost en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	21
Figura 7. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	21
Tabla 8. Resultados análisis de varianzas y medias para producción total según el porcentaje de sustrato (PS).....	22
Tabla 9. Resultados de correlación para la producción total con el porcentaje de sustrato (PS).....	22
Figura 8. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según producción total.....	23
Figura 9. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según la producción tot.....	24

Figura 10. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según la producción total.....	24
Figura 11. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 8L según la producción total.....	26
Figura 12. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 16L según la producción total.....	26
Figura 13. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 24L según la producción total.....	27
Tabla 10. Resultados de número de tomates.....	27
Figura 14. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.....	28
Figura 15. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.....	28
Figura 16. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.....	29
Tabla 11. Resultados análisis de varianzas y medias para número de tomates.....	29
Tabla 12. Resultados de correlación para el número de tomates producidos por planta.....	30
Figura 17. Influencia de la proporción de perlita en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	30
Figura 18. Influencia de la proporción de compost en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	31
Figura 19. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	31
Tabla 13. Resultados análisis de varianzas y medias para número de tomates según el porcentaje de sustrato (PS).....	32
Tabla 14. Resultados de correlación para número de tomates producidos con el porcentaje de sustrato añadido (PS).....	32
Figura 20. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según el número de tomates.....	33
Figura 21. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según el número de tomates.....	33
Figura 22. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost.....	34
Figura 23. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según el número de tomates producidos.....	35

Figura 24. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según el número de tomates producidos.....	35
Figura 25. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según el número de tomates producidos.....	36
Tabla 15. Medias de peso medio de tomates cultivados en contenedores de 8, 16 y 24 litros con distintas proporciones de perlita, compost, vermicompost o turba en el medio de cultivo con o sin abono mineral añadido (g).....	37
Figura 26. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.....	37
Figura 27. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.....	38
Figura 28. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.....	38
Tabla 16. Resultados análisis de varianzas y medias para peso medio.....	39
Tabla 17. Resultados de correlación para peso medio.....	39
Figura 29. Influencia de la proporción de perlita en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	40
Figura 30. Influencia de la proporción de compost en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	40
Figura 31. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	41
Tabla 18. Resultados análisis de varianzas y medias para peso medio de los tomates según el porcentaje de sustrato (PS).....	41
Tabla 19. Resultados de correlación para peso medio de tomates con porcentaje de sustrato (PS).....	41
Figura 32. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según peso medio de tomates.....	42
Figura 33. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según peso medio de tomates.....	42
Figura 34. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según peso medio de tomates.....	43
Figura 35. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según el peso medio de los tomates producidos.....	44
Figura 36. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según el peso medio de los tomates producidos.....	44

Figura 37. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según el peso medio de los tomates producidos.....	45
Tabla 20. Resultados de la duración de la cosecha (días).....	46
Figura 38. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.....	47
Figura 39. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.....	47
Figura 40. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.....	48
Tabla 21. Resultados análisis de varianzas y medias para la duración de cosecha.....	48
Tabla 22. Resultados de correlación para la duración de la cosecha según el tamaño de contenedor (TC).....	48
Figura 41. Influencia de la proporción de perlita en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	49
Figura 42. Influencia de la proporción de compost en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	50
Figura 43. Influencia de la proporción de vermicompost en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.....	50
Tabla 23. Resultados análisis de varianzas y medias para duración de la cosecha según el porcentaje de sustrato (PS).....	51
Tabla 24. Resultados de correlación para la duración de la cosecha con el porcentaje de sustrato añadido (PS).....	51
Figura 44. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según la duración de cosecha....	51
Figura 45. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según la duración de cosecha.....	52
Figura 46. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según la duración de cosecha.....	52
Figura 47. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según la duración de cosecha.....	53
Figura 48. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según la duración de cosecha.....	54
Figura 49. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según la duración de cosecha.....	54

1. Introducción

En las últimas décadas la urbanización está expandiéndose rápida y continuamente en todo el mundo. Más del 50% de la población mundial ahora vive en áreas urbanas y esta cifra, se predice que alcanzará el 70% para 2050 (Kulak, Graves y Chatterton, 2012; Sanyé Mengual et al., 2012). Europa, según la Agencia Europea de Medioambiente, es uno de los continentes más urbanizados del planeta con el 75% de la población viviendo en áreas urbanas. Y se considera que en el futuro, más de un cuarto del territorio de la Unión Europea (UE) va a estar afectado directamente por el uso urbano del suelo y en 2020 se prevé que aproximadamente el 80% de los Europeos vivirán en zonas urbanas (EEA, 2006). Estas desempeñan un papel clave en el medioambiente mundial ya que son dependientes de fuentes externas de energía y bienes (Sanyé Mengual et al., 2012).

Producir alimentos suficientes para una población en crecimiento, teniendo en cuenta el cambio climático y las limitaciones de recursos naturales, presenta grandes desafíos para el futuro (Kulak et al., 2012). Y más si nos ponemos en un contexto de ciudad con poco espacio para ello. Además las ciudades contemporáneas están amenazadas por el desarrollo urbano que reduce la calidad ambiental y fragmenta los paisajes naturales y agrícolas. Como resultado de esta fragmentación, el número de áreas no urbanizadas presentes en zonas urbanas está disminuyendo drásticamente (La Rosa, Barbarossa, Privitera y Martinico, 2014). En las ciudades mediterráneas por una consecuencia del crecimiento urbano con regulaciones ambientales deficientes, se han producido paisajes urbanos caracterizados por la falta de áreas verdes y altos niveles de fragmentación ecológica (EEA, 2006). Por lo que cada vez se ve más necesario el establecimiento de este tipo de áreas pudiendo utilizarse los huertos urbanos como zonas verdes de oxigenación.

1.1 Horticultura urbana

Actualmente, en todos los grupos socioeconómicos y en todo el mundo, la horticultura urbana (HU) está en auge (Säumel et al., 2012). Se considera que los momentos de mayor auge de la Agricultura Urbana (AU) están directamente relacionados con crisis económicas y energéticas, que obligan a recurrir a ella como sistema de autoabastecimiento (Alonso, 2011). En los inicios de la ciudad industrial del XIX cumplía funciones de subsistencia, higiene y control social. En la primera mitad del siglo XX la AU aparece ligada a las guerras mundiales, su función es de subsistencia y patriótica, de apoyo a la economía de la guerra y postguerra. A partir de los años 70 los proyectos de AU cumplen funciones de desarrollo local, integración social y educación ambiental, y son lideradas por organizaciones comunitarias y ecologistas. En el momento actual tiene la potencialidad de ser un instrumento de mejora ambiental y social, colaborando en aumentar la sostenibilidad urbana, insertar la naturaleza en las ciudades, la lucha contra el cambio climático, la calidad de vida y aumentar la biodiversidad en las mismas. Las personas interesadas en los huertos lo están a menudo también en el modelo alimentario, y buscan modos de tener acceso a alimentos frescos, ecológicos y de calidad (Alonso, 2011).

Por lo que puede cumplir diversas funciones, incluida la producción de alimentos y la construcción de la comunidad y puede contribuir a reducir el problemas de impacto socioeconómico y ambiental (Säumel et al., 2012).

Por otro lado, hoy en día, se sigue debatiendo si la AU puede servir como camino hacia la seguridad alimentaria para los hogares urbanos pobres. En los países en desarrollo, la HU es principalmente una estrategia para lograr la seguridad alimentaria. Además, la inseguridad alimentaria es un fenómeno en aumento en los países desarrollados y los bancos de alimentos son cada vez más utilizados en países desarrollados de todo el mundo (Säumel et al., 2012). Como ejemplo de ello, en Italia, los gobiernos locales ofrecen jardines de asignación urbana para alentar a las personas mayores de bajos ingresos a producir sus propios alimentos y aumentar las interacciones sociales (Säumel et al., 2012).

Pudiendo ser en este caso clave para la subsidencia, obtener beneficios financieros y aumentar, a su vez, la disponibilidad de alimentos en los hogares y un mayor acceso a alimentos específicos (Poulsen et al., 2015). Cuando los hogares producen sus propios alimentos, tienen un acceso más fácil a alimentos ricos nutricionalmente, con dietas más variadas y de mayor calidad. Los gastos realizados para su obtención también pueden reducirse, liberando dinero para comida adicional u otras necesidades. AU puede proporcionar a los hogares una fuente más estable de alimento y minimizar los impactos negativos de los salarios variables o los precios de los alimentos además de aumentar la diversidad, cantidad y calidad de muchos precederos en áreas urbanas (Poulsen et al., 2015).

Además, también contribuye al fortalecimiento de la sostenibilidad social y aumentar la sostenibilidad ecológica mediante la transformación de desechos, la conservación de los recursos naturales, prevención de la erosión del suelo y reducción de la contaminación ambiental. Aunque hay que tener en cuenta que su función principal es el suministro de alimentos frescos, pero las funciones emergentes que se están volviendo más y más esenciales son el entorno económico (generación de ingresos), social (laboral), cultural y de vida (espacios abiertos y ecológicos), ambiental (reciclaje) y seguridad (alimentos y riesgos naturales) (Tixier, 2006).

La horticultura urbana y periurbana incluye todos los cultivos hortícolas cultivados para el consumo humano y uso ornamental dentro y en las inmediaciones de las ciudades. A pesar de que los cultivos siempre se han cultivado dentro de la ciudad, la práctica se está expandiendo y está ganando más atención (Tixier, 2006). También ha sido definida la AU por la FAO como “áreas pequeñas dentro de ciudades, tales como lotes baldíos, jardines, arcenes, balcones y contenedores, que se usan para cultivar y criar ganado pequeño o vacas lecheras para autoconsumo o venta en mercados de barrio” (Poulsen, McNab, Clayton y Neff, 2015, p. 132).

En general, los tipos de cultivos cultivados varían según el área disponible, influenciados por la cultura y tradición. Generalmente, en las ciudades, se prefieren los cultivos de ciclo corto, mientras que en los alrededores se cultivan ciclos más largos (Tixier, 2006). Estos sistemas de cultivo difieren de los sistemas rurales por su proximidad a las ciudades y por la limitación del espacio, que a menudo conducen a una mayor intensificación de la producción (Tixier, 2006). Aprovechan espacios urbanos artificializados donde el suelo original no es apto para cultivo y espacios como tejados, terrazas, balcones e incluso paredes y muros verticales.

En estos es muy habitual el cultivar en contenedores de distintos tamaños y formas de rellenarlos, con distintos medios de cultivo, tanto orgánicos como inorgánicos.

A menudo representan los últimos restos de naturaleza en áreas metropolitanas y proporcionan importantes servicios de purificación de aire y agua además de contribuir a la economía, bienestar sociológico, psicológico y espiritual de las comunidades (La Rosa et al., 2014).

Los estudios sugieren que el consumo de alimentos es responsable de entre el 20-30% de las principales cargas ambientales en Europa Occidental (Kulak et al., 2012). Existen estudios que demuestran que la AU puede llegar a reducir potencialmente las reducciones de efecto invernadero hasta en 34 t CO₂/ ha año (Kulak et al., 2012) o 441 g de CO₂ equivalente y 12 KJ de energía por tomate, traduciéndose en una reducción del impacto de entre el 44,5% y el 75,5% (Sanyé Mengual et al., 2012). Esto se debe mayoritariamente a la proximidad entre la producción y el consumo.

1.2 Horticultura urbana orgánica

La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de pesticidas, fertilizantes sintéticos y con alto valor nutricional. Ésta se ha arraigado con fuerza en el mercado agroalimentario mundial, tanto en lo relativo a las estructuras productivas como al consumo y a los intercambios internacionales. Además, la producción local y el consumo de alimentos ecológicos son temas de actualidad relacionados con el nuevo comportamiento del consumidor y la venta minorista de vegetales. Como ejemplo, un estudio suizo concluyó que la etapa de mayor preocupación según los consumidores es el impacto ambiental relacionado con la distribución de los vegetales (Sanyé Mengual et al., 2012). También se identificó que la distancia de transporte, el tratamiento post consumo de residuos de envases y el método de producción como los principales criterios al elegir vegetales producidos de forma ambientalmente amigable (Sanyé Mengual et al., 2012).

En España existe una clara tendencia en el aumento de la producción de productos ecológicos, tanto en número de operadores (Tabla 1) como en superficie (Tabla 2) dedicada a ello. En el año 2015 se llegaron a cultivar 1.968.570 ha por 34.673 productores en ecológico en España (MAPAMA, 2016a). Según el último estudio del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) titulado "Caracterización del sector de producción ecológica española" en términos de valor y mercado, referida al año 2015 también se ha observado un aumento del 26,4% (26,2% perteneciente a productos de origen vegetal) de la producción global en ecológico del año 2014 al 2015 en España.

Tabla 1. Evolución de la producción Ecológica en España 1991-2015, número de operadores total (MAPAMA, 2016a, p. 2).

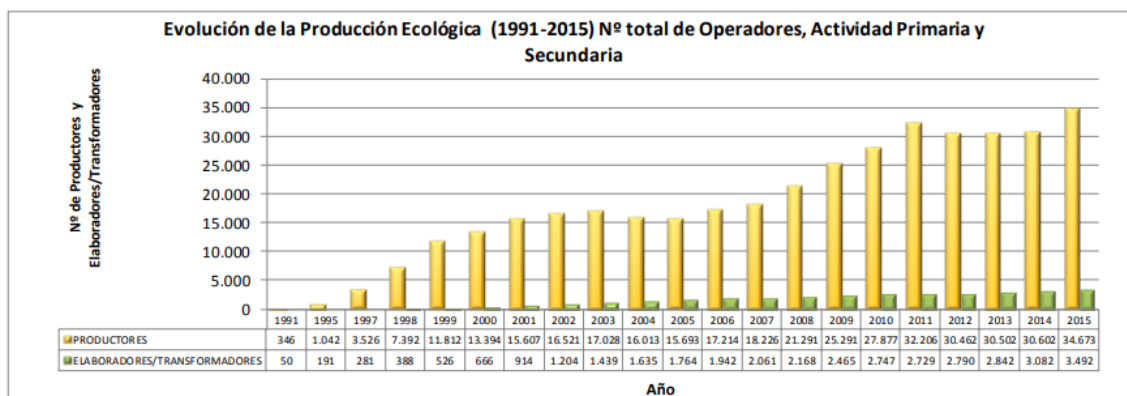
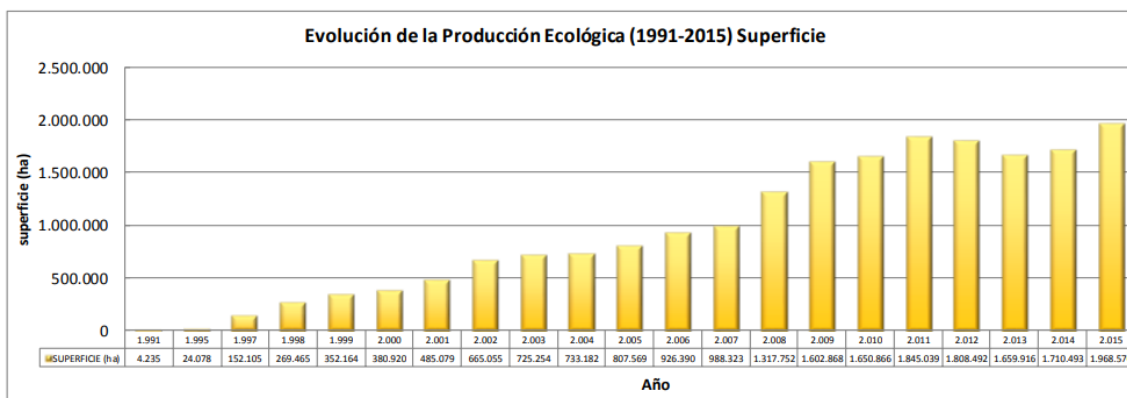


Tabla 2. Evolución de la producción Ecológica en España 1991-2015, superficie (MAPAMA, 2016a, p. 3).



En la AU esta tendencia es similar ya que se tiene una mayor concienciación y preocupación por la cercanía a las personas, el aumento en la exposición a estos agroquímicos y que en su gran mayoría es para autoconsumo.

En consonancia con el fuerte desarrollo experimentado en 2015 por las estructuras productivas ecológicas y por la propia producción ecológica en España, también se ha registrado, en dicho año, un importante incremento del consumo de productos de estas características en el mercado interior, continuándose e intensificándose la tendencia ya observada en años anteriores. Como se puede observar en la gráfica presentada a continuación, en el año 2015 el consumo de productos ecológicos en España fue de aproximadamente 1.500 millones de euros, lo cual indica un crecimiento del 24,5% respecto a 2014 (MAPAMA, 2016).

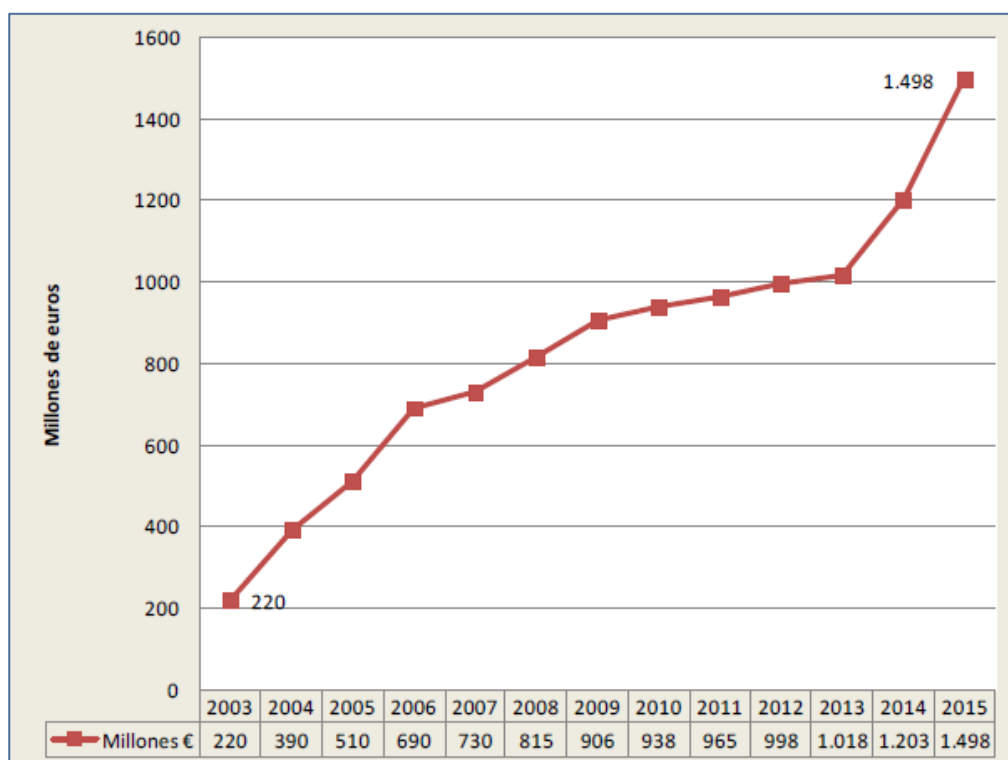


Figura 1. Evolución consumo de productos ecológicos en España 2003-2015 (MAPAMA, 2016, p. 24).

Por lo que se ha asistido a un incremento muy significativo del gasto per cápita realizado por los consumidores españoles en productos ecológicos, hasta alcanzar los 32,3 euros/hab./año, lo cual aproxima el mercado español al de los grandes países desarrollados, en lo que se refiere a consumo de productos ecológicos. España en 2014 se situaría con un 2% del consumo mundial de estos productos en el 9º lugar y 6º en la UE en cuanto a consumo de productos ecológicos se refiere (MAPAMA, 2016).

1.3 Aprovechamiento de residuos orgánicos *in situ*

Los residuos agrícolas y urbanos compostados se han usado para enmendar el suelo y mejorar la fertilidad por siglos. Por otro lado además, con el endurecimiento de las legislaciones de gestión de residuos y la problemática mundial sobre su gestión se considera una buena opción el poder gestionar la fracción de residuos orgánicos municipales (FORM) mediante compostaje y vermicompostaje *in situ* (en el ámbito urbano y periurbano) con el fin de poder utilizar estos como enmiendas orgánicas en la AU. Ayudando así al cumplimiento de los nuevos objetivos y exigencias marcadas por la UE y el nuevo Plan de Residuos de Navarra 2017-2027. Este plan marca como objetivos reducir un 12% la generación de residuos para 2027 respecto a la generación de 2010 y capturar el 70% de la materia orgánica (Gobierno de Navarra, 2016).

1.4 Compost como sustratos

La función de los sustratos de cultivo es sustituir al suelo, permitiendo el anclaje y adecuado crecimiento del sistema radicular de la planta. El suelo, factor de producción esencial en la agricultura, actúa como soporte físico de los cultivos y les proporciona los nutrientes, el aire y el agua que precisan (MAPAMA, 2018). Estos pueden ser mezclas de varios componentes o unimateriales.

Normalmente se utiliza la turba como sustrato para este tipo de agricultura en contenedores, pero el uso de la misma implica la explotación de recursos no renovables y la degradación de ecosistemas de gran valor como turberas. En muchos países, se han establecido varias restricciones para el uso de este material debido a las preocupaciones ambientales y, en consecuencia, la turba se ha convertido en un recurso bastante escaso y costoso (Lazcano et al., 2009). Por lo tanto, para reducir costes y adoptar prácticas más respetuosas con el medio ambiente, es de gran interés la investigación sobre sustratos alternativos.

El aumento paralelo de la preocupación por el reciclaje de residuos ha llevado a la propuesta de algunos materiales orgánicos, tales como sustratos de tipo compost y vermicompost, como sustitutos parciales o totales de la turba. Por ello, y por darle un uso alternativo y sostenible a los FORM, se estudia la posibilidad de utilizar sustratos orgánicos alternativos, ayudando a cerrar los ciclos de la materia orgánica (MO).

El vermicompost se define como producto estabilizado, obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas (Real Decreto 506, 2013).

Por el contrario el compost se define como producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables (Real Decreto 506, 2013).

Con el uso de este tipo de sustratos se consigue la base de lo que sería una economía circular (EC). Sustituyendo una economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una EC en la que se reincorporen al proceso productivo, una y otra vez, los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas. Cerrando así, igualmente los ciclos de los nutrientes y la MO.

También la aplicación de compost parece ser un buen complemento como un fertilizante ya que mejora las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo o sustrato y la tasa de liberación de nitrógeno en el suelo es más lenta (Martínez Blanco, Muñoz, Antón y Rieradevall, 2010).

Además se ha demostrado que el tomate de la agricultura orgánica al experimentar unas mayores condiciones de estrés, tienen mayores concentraciones de sólidos solubles como azúcares y otros compuestos que contribuyen a la nutrición y calidad como la vitamina C y los compuestos fenólicos (Oliveira et al., 2013). Por otro lado hay estudios que demuestran que estas enmiendas orgánicas ayudan en el control de patógenos de plantas. Esto se debe a la

actividad microbiana potenciada por la descomposición de las enmiendas en el suelo (Marull et al., 1997; Abbasi et al., 2002).

Aunque la HU está asociada a riesgos para la salud ya que los cultivos en entornos urbanos generalmente están expuestos a niveles más altos de contaminantes que aquellos en áreas rurales (Säumel et al., 2012). Al tratarse de zonas urbanas hay alguna contraindicación con su uso por poder contribuir al aumento en la acumulación de metales pesados y contaminantes en los vegetales cultivados (Murray y Pichin, 2011). Pero esto depende del tipo de compost (Murray et al., 2011), la contaminación del lugar, el tipo de vegetal y la exposición a estos contaminantes pudiéndose disminuir con barreras naturales o artificiales (Säumel et al., 2012).

En este trabajo, se presenta un ensayo experimental en el que se evalúa la producción de tomate para fresco obtenida en contenedores de 8, 16 y 24 litros, rellenos con distintas proporciones de tres sustratos orgánicos (turba, compost y vermicompost). También se evalúa el efecto de la aplicación complementaria de fertilizantes minerales de síntesis, en las producciones obtenidas.

2. Antecedentes

Existen estudios en los que se demuestra que el compost y el vermicompost son sustratos adecuados para el crecimiento de la planta de tomate en contenedores (Lazcano et al., 2009). Concluyendo que el reemplazo total de turba por vermicompost es posible pero que las dosis de compost superiores al 50% causaban la mortalidad de las plantas. Aunque para ambos casos, mejoraban la morfología de la planta y de la biomasa aérea y de raíces, había un mayor número de hojas y de ramificaciones en raíces. También se demostró que dosis bajas de compost (10 y 20%) y altas dosis de vermicompost produjeron aumentos significativos en la biomasa aérea y de raíces de las plantas de tomate. Por lo que, el uso de compost y vermicompost constituye una alternativa atractiva para el uso de turba en la planta de viveros debido a los beneficios ambientales involucrados, pero también debido a la mejora observada en la calidad de la planta (Lazcano et al., 2009).

Otros investigadores, estudiaron la producción hortícola de tomate utilizando compost o fertilizantes minerales, tanto en campos abiertos como en invernaderos, proporcionando información sobre los impactos ambientales y evaluación de la viabilidad agronómica de los mismos (Martínez Blanco et al., 2010). Los resultados indicaron que reemplazar una fracción de la dosificación de fertilizantes minerales con compost es una buena opción, ya que esto no altera los parámetros de rendimiento o el tamaño.

Faltan estudios que comparen la influencia de los diferentes tamaños de contenedor para cultivos hortícolas, los cuales pueden ser interesantes para observar las posibles repercusiones en los rendimientos de los mismos, por su implicación práctica para en la horticultura urbana.

3. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- La evaluación del efecto del medio de cultivo más adecuado para el desarrollo del cultivo de tomate en contenedor.
- La evaluación del efecto del tamaño del contenedor más adecuado para el desarrollo del cultivo del tomate en contenedor.
- La evaluación del efecto de la aplicación de fertilizantes minerales en el desarrollo del cultivo de tomate en contenedor con soporte orgánico.

4. Material y métodos

El experimento se estableció en la finca de prácticas e investigación de la Universidad Pública de Navarra. Situada en Campus de Arrosadía en la parte posterior al edificio de El Sario con coordenadas 42° 37' 16'' N y 1° 37' 53,28'' W (SIGPAC, 2018) y altitud 454m (Google Earth, 2018), situado en localidad de Pamplona, capital de la Comunidad Foral de Navarra. El estudio se situó bajo una estructura de invernadero pero sin plástico en la superficie, solo en los laterales. Con ello se quiso simular y aproximarse a las condiciones de una terraza o balcón.

Los tratamientos fueron conformados de acuerdo a un arreglo factorial de tres volúmenes de maceta, tipo de fertilización y medio de cultivo. La unidad experimental fue compuesta por una maceta y una planta por cada una de ellas. Como sustrato base se utilizó la turba (T). Con ella se mezclaron en tres proporciones (100%, 50% y 25%) perlita (P), compost (C) y vermicompost (VC). Estas mezclas se depositaron en macetas de tres volúmenes (8L, 16L y 24L) con y sin abonado mineral (Anexo 1). De todas las unidades experimentales se realizaron tres repeticiones (Tabla 3).

Tabla 3. Numeración de las unidades experimentales empleadas.

Vol.		P			C			VC			T
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%
8L	Sin	1	7	13	25	31	37	43	49	55	19
	Con	2	8	14	26	32	38	44	50	56	20
16L	Sin	3	9	15	27	33	39	45	51	57	21
	Con	4	10	16	28	34	40	46	52	58	22
24L	Sin	5	11	17	29	35	41	47	53	59	23
	Con	6	12	18	30	36	42	48	54	60	24

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; Vol., volumen; sin, sin fertilización mineral; con, con fertilización mineral.

El tomate utilizado para la plantación fue un híbrido tipo Jack, bien adaptado a las condiciones climáticas (ambientes húmedos) del norte de España. Estos se trasplantaron el 28 de junio de 2017 cuando contaban con un botón floral.

La perlita seleccionada para su uso es la Perlita Premium Gramoflor de 2-6 mm. Con ella se pretende conseguir una mejor absorción de agua y favorecer la oxigenación de los sustratos. El

C proviene de residuos de depuración de aguas y fracción vegetal, y el VC de residuos de ganado ovino. La turba utilizada es de la marca comercial Gramoflor con número de receta 25937, compuesta por turba rubia alemana, turba negra alemana y lignofibre. En la siguiente tabla (tabla 4) se representa la caracterización de los componentes de los medios de cultivo.

Tabla 4. Caracterización de los componentes de los medios de cultivo.

	pH	CE	N total	P ₂ O ₅	KO	CaO	MgO	Fe	Zn	Mn
		dS/m	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	g/kg
VC	7,4	4,6	9,6	4,5	9,9	39,6	3,8	4,1	48,46	0,3
C	7,4	11,4	19,1	21,3	23,5	124,9	7,9	13,2	227,82	0,2
T	5,8	1,9	170*	200*	215*					
P	7									

VC, vermicompost; C, compost; T, turba; P, perlita; CE, conductividad eléctrica; *, unidades en mg/l.

No hubo necesidad de ningún tipo de control fitosanitario por mantenerse todas las plantas en buen estado, sin enfermedades ni plagas.

Las plantas de tomate fueron guiadas a un tallo y para sostenerlas se utilizó hilo que se sujetó a la estructura del invernadero, haciendo una poda en verde cuando las yemas se elongaron menos de 2 cm.

Se utilizó un riego por goteo automatizado, manteniéndolo continuado y regulando una cantidad de agua como para que en los platos de las macetas hubiera agua pero nunca se sobresaliera. Por lo que dependiendo de las lluvias se aumentaba o disminuía la duración y periodicidad del mismo.

Se abonaron solamente los ejemplares que contaban con suplementación mineral. Este abono fue abono complejo triple NPK 9-18-27 cuando la segunda planta de tomate se puso en flor. La cantidad aportada fue de 10 gramos de abono por planta. Realizando una segunda cobertera idéntica un mes más tarde.

Las variables medidas para su posterior análisis fueron el número de tomates por planta cosechados (NT), producción en peso total por planta (PT), el peso medio de tomates por planta (PM) y la duración de la cosecha (D). El peso medio se calculó dividiendo la producción total entre el número de tomates de cada planta y la duración calculando los días que separan el primer día de cosecha y el último en cada una de ellas. Estos fueron cosechados, al igual que los tomates para comercializar, cuando se notaba un cambio de color en la parte de inferior del fruto.

$$PM (g) = \frac{PT (g)}{NT (N^{\circ})}$$

$$D (días) = \text{Último día cosecha} - \text{Día 1}^{\text{a}} \text{ cosecha}$$

Estas variables fueron analizadas con el paquete estadístico IBM SPSS 22 (IBM Corp, 2013, NY). Tras comprobar mediante el test Shapiro-Wilk que los datos seguían una distribución normal, se realizó el análisis de varianzas por ANOVA de un factor para las medias de las

variables y una comparación múltiple de medias mediante el test *post-hoc* de Tukey. Además, se midieron los coeficientes de correlación mediante Pearson y Spearman. Por otro lado, para la comparación y análisis entre tener o no fertilización mineral y diferente fertilización orgánica, se utilizó ANOVA de dos factores por el método de modelo lineal general. El nivel de significación utilizado fue de $P < 0,05$ para aquellos análisis que no requieren *post-hoc*.

5. Resultados y discusión

5.1 Producción total (PT)

El sustrato con 50% de vermicompost con fertilización inorgánica mineral, obtuvo la producción más alta con aproximadamente 3708 g ($P < 0,05$), mientras que las plantas con 100% de perlita y sin suplementación mineral, obtuvieron una media de alrededor de 15 g de producción, esto se traduce en un 0,4% de la producción máxima, siendo la producción más baja ($P < 0,05$; Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de la media producción total (g/planta).

Vol.		P			C			VC			T
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%
8L	Sin	15	189	133	224	320	410	1115	702	918	138
	Con	88	1144	1040	581	906	1249	2008	1045	1009	1013
16L	Sin	32	362	538	594	712	1152	2054	1789	933	878
	Con	314	1383	1468	1361	1899	1429	2607	2885	1572	1458
24L	Sin	11	533	577	1600	1840	1922	3312	3273	3180	1022
	Con	0	1417	2029	2162	2525	1903	2738	3708	2550	1907

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; Vol, volumen; sin, sin fertilización mineral; con, con fertilización mineral.

5.1.1 Comparación tamaño de contenedor

Además, como se puede apreciar en las tres siguientes figuras (Figura 2, 3 y 4), al aumentar el tamaño de contenedor (TC), aumenta la producción total.

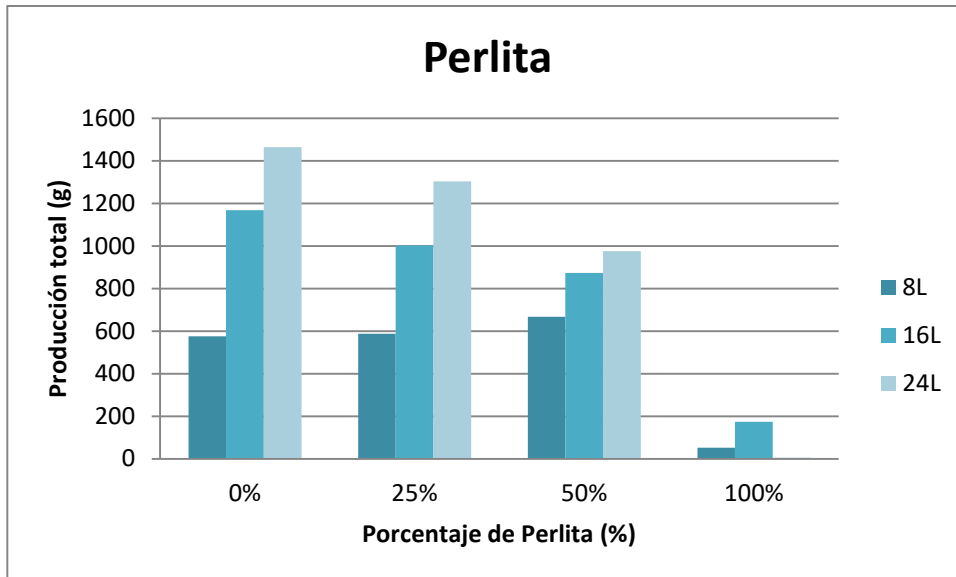


Figura 2. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.

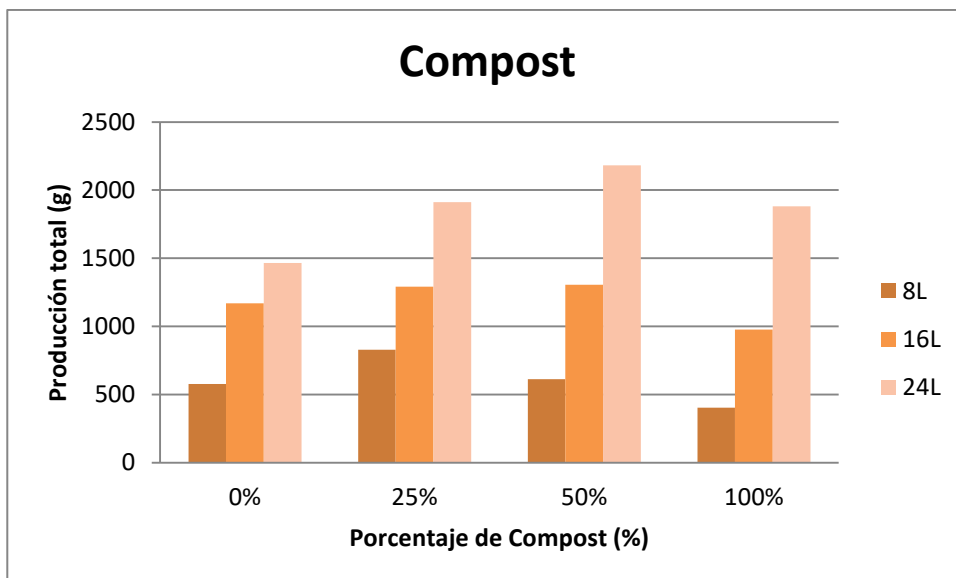


Figura 3. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.

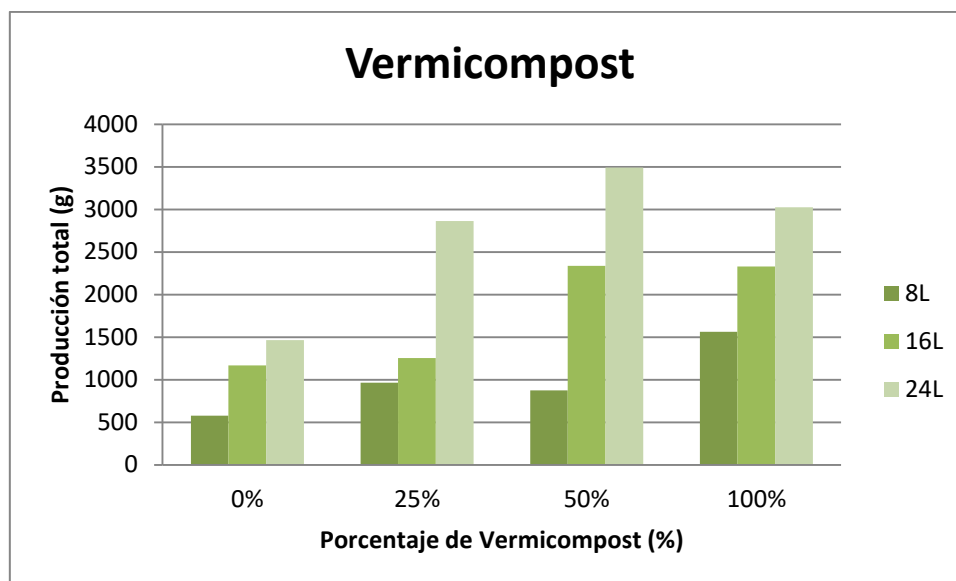


Figura 4. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción total en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.

Exceptuando en contenedores con 100% de perlita como sustrato (Figura 2), aumenta la producción total con el aumento del tamaño de contenedor. Esto puede deberse a que a mayor cantidad de sustrato, mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, por lo que, lograrán satisfacer sus necesidades con mayor facilidad. Además, también se retendrá mayor cantidad de agua por existir un volumen mayor donde poder retenerla, ayudando así al desarrollo de la misma. En el caso de 100 % de perlita, como esta no contiene ningún tipo de nutriente ni tienen buena capacidad de retención de agua, no sucede el mismo fenómeno.

De acuerdo con el análisis de varianza, se detectaron diferencias significativas en la producción total de tomates entre los diferentes tamaños de contenedor, por lo que se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas para todos los casos. De igual manera, mediante la prueba ANOVA, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias por lo que se concluye que hay diferencias significativas entre las medias de producción total según el tamaño de contenedor en el que se produzcan. Tras el análisis *post-hoc* mediante test de Tukey se comprueba que tanto para el C como para el VC existen diferencias significativas en todos los casos. Sin embargo para la P solamente habría entre los volúmenes de 8 y 24L (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados análisis de varianzas y medias para la producción total.

		P	C	VC
TC	ANOVA	0'034	<0'001	<0'001
	Tukey	entre 24-8L	todos	todos

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor.

En cuanto a las correlaciones decir (Tabla 7), que la producción total varía según el volumen de maceta empleado (TC) de manera lineal para los tres sustratos. Por lo que se corrobora lo dicho anteriormente, al aumentar el tamaño de la maceta se aumenta la producción total por maceta de manera lineal.

Tabla 7. Resultados de correlación para la producción total.

		P	C	VC
TC	Pearson	0'297*	0'682**	0'634**
	Sig.	0'011	<0'001	<0'001
TC	Spearman	0'244*	'689**	0'633**
	Sig.	0'039	<0'001	<0'001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor; Sig., significación.

5.1.2 Comparación porcentaje de perlita, compost o vermicompost en el medio de cultivo

Por otro lado, el porcentaje de los distintos sustratos añadidos a la turba, para conformar el medio de cultivo, no tiene una repercusión igual sobre la producción de tomate. Cada sustrato actúa de diferente modo. Como han mencionado algunos autores, el tipo de sustrato, la cantidad y la calidad influyen el rendimiento de la producción de tomate (Cruz Lazaro et al., 2009).

Para el caso de la perlita, se puede apreciar (Figura 5), que un aumento en el porcentaje de la misma tiende a disminuir la producción total. Esto se puede deber a que, como se ha mencionado anteriormente, no contiene nutrientes esenciales y necesarios para las plantas, al contrario que la turba, por lo que sustituyendo esta última por perlita, se disminuirá la cantidad de nutrientes disponibles. Además, se ha demostrado que con mayores humedades en los sustratos la absorción de nutrientes es mayor (Márquez Hernández et al., 2013).

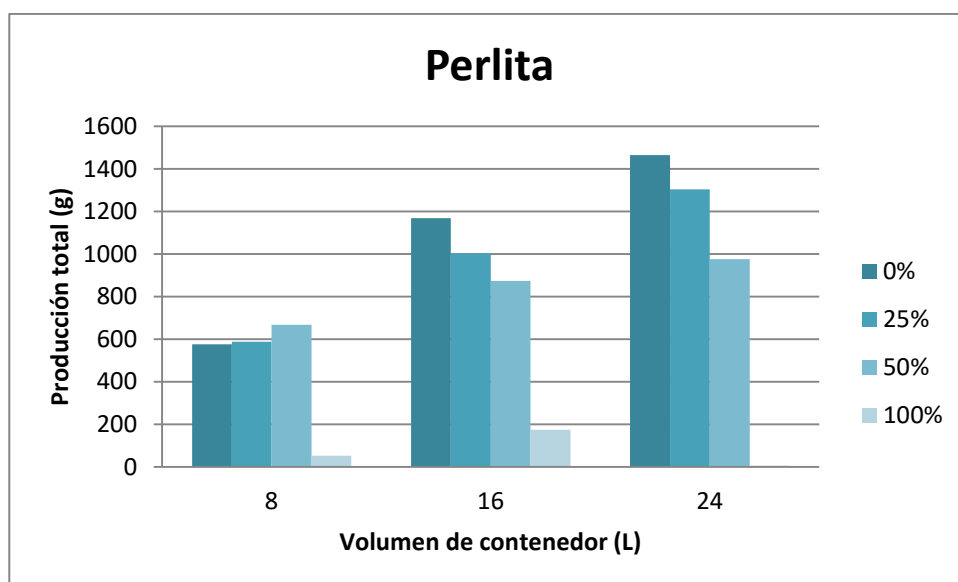


Figura 5. Influencia de la proporción de perlita en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

Para el caso del compost, se aprecia que aumenta la producción total en peso al aumentar el porcentaje de compost añadido hasta llegar a un máximo en donde empieza a disminuir esta producción (Figura 6). Esto puede deberse a una posible fitotoxicidad por metales pesados o por un exceso de salinidad. Según varios autores, el uso de compost en la horticultura ha

demostrado estar ocasionalmente limitado por la alta conductividad eléctrica y la excesiva cantidad de ciertos iones que causan fitotoxicidad (Lazcano et al., 2009). Por lo que se puede atribuir este descenso en la producción a un alto contenido en Zn y una alta conductividad eléctrica (Tabla 4). Además se menciona, que un exceso de este metal pesado, causa disminuciones en crecimiento y desarrollo de los cultivos, considerándose un suelo contaminado con valores entre 150 y 300 mg/kg (Nagajyoti, Lee y Sreekanth, 2010).

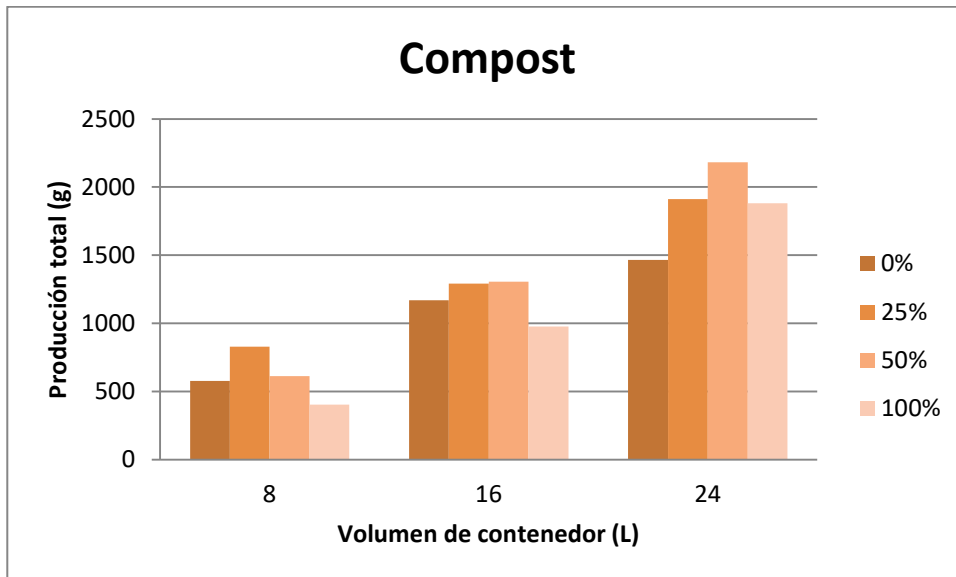


Figura 6. Influencia de la proporción de compost en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

En este último caso, solamente para los contenedores de 24L, se puede observar un proceso parecido al del compost. En el resto de volúmenes, se puede decir que al aumentar el porcentaje de vermicompost, aumenta la producción (Figura 7). Por lo que se concluye que su fitotoxicidad es menor a la del compost, pudiéndose usar en mayor proporción.

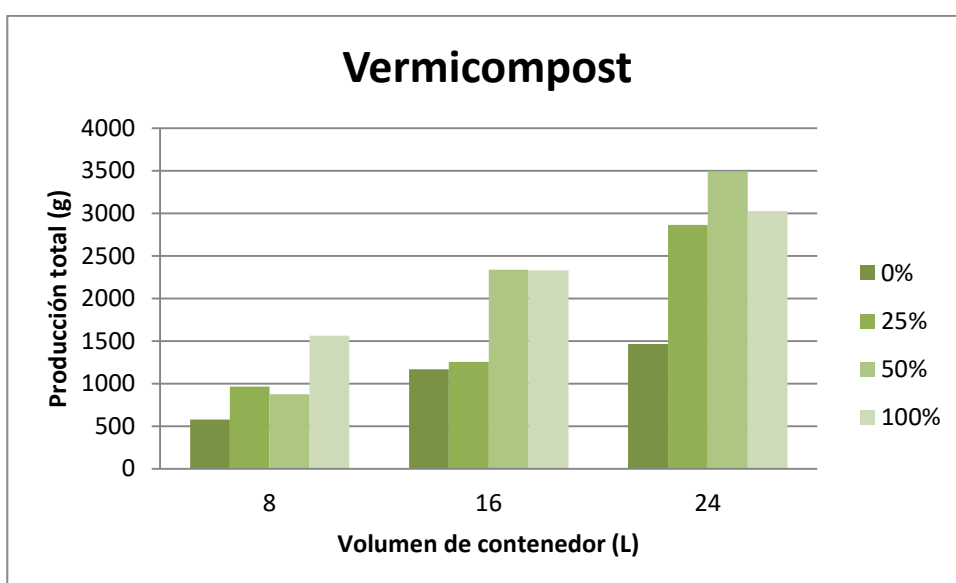


Figura 7. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

De acuerdo con el test ANOVA para el análisis de medias, se detectaron diferencias significativas en la producción total de tomates entre los diferentes porcentajes de sustrato (PS) utilizados para el caso de la perlita (P) y el vermicompost (VC). Sin embargo para el compost (C) no, por lo que no se podrá rechazar, en este último caso, la hipótesis de igualdad de medias. Tras el análisis *post-hoc* mediante test de Tukey, para los dos casos en los que hubo diferencias significativas, se comprueba que en la perlita existen diferencias significativas entre el 100% y el resto de porcentajes y para en el vermicompost entre el 0% con el 100% y el 50% (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados análisis de varianzas y medias para producción total según el porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	ANOVA	<0'001	0'495	0'002
	Tukey	100% con todos	ninguno	0% con 100 y 50%

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato.

En cuanto a las correlaciones (Tabla 9) decir que la variable producción total tiene una correlación lineal con el porcentaje de sustrato añadido de perlita (P) y vermicompost (VC). Pero con una gran diferencia, ya que para el caso de la perlita, la relación será inversa, por lo que al aumentar el porcentaje de dicho sustrato disminuirá la producción, al contrario de lo que pasa con el vermicompost.

Tabla 9. Resultados de correlación para la producción total con el porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	Pearson	-0'582**	-0'021	0'398**
	Sig.	<0'001	'862	0'001
PS	Spearman	-0'592**	-0'031	0'430**
	Sig.	<0'001	0'794	<0'001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato; Sig., significación.

5.1.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica

Una de las intenciones del presente estudio, era evaluar las diferencias entre tratamientos con fertilización mineral y sin ella. Con ello, se pretende determinar si es necesaria esta suplementación de fertilizante mineral, para satisfacer las necesidades productivas de las plantas que tienen sustratos orgánicos o abonos orgánicos como sustrato.

Como se puede apreciar en las tres figuras siguientes (Figuras 8, 9 y 10), hay una tendencia general al aumento de la producción total de la planta de tomate, al suministrarle fertilización mineral. Esta diferencia es mucho más notoria con el sustrato de perlita (Figura 8), además a mayor proporción de la misma, mayor es la diferencia. Esto sucede porque la perlita como tal, no aporta ningún nutriente a las plantas, por lo que, la única nutrición que reciben es por el aporte mineral junto con el porcentaje de turba que tengan. Hay estudios que revelan que es

necesario un aporte de macroelementos, por que la demanda de estos por la planta de tomate, supera los contenidos en el compost aunque sin ese aporte sea posible conseguir una buena producción (Márquez Hernández et al., 2013).

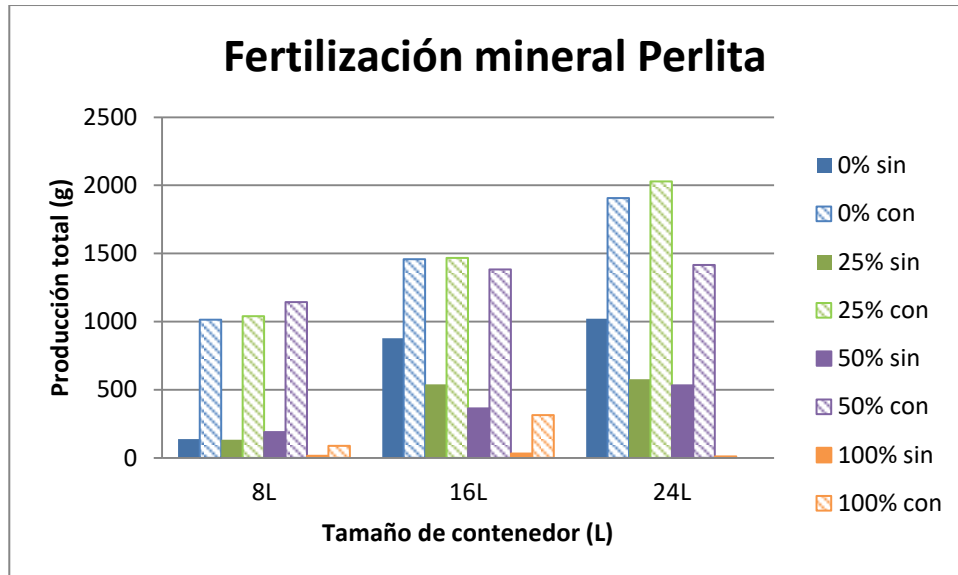


Figura 8. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según producción total.

En la siguiente figura (Figura 9), se aprecia muy bien como la aportación de compost consigue parecidos resultados que un medio de cultivo completamente de turba con suplementación mineral (0% con). Esto se relaciona con que hay un mayor contenido de nutrientes en el compost y vermicompost, en comparación con la turba (Tabla 4), que permiten la reducción de los fertilizantes minerales utilizados, con la reducción de gastos que esto puede conllevar (Lazcano et al., 2009).

Además queda demostrado, que al igual que en la agricultura, la aplicación de compost es la entrada más común de materia orgánica a jardines urbanos. Con esto se consigue mejorar la estructura del suelo a través de la formación de puentes de catiónicos y también, aumentar la fertilidad del suelo y la retención de agua (Murray et al., 2011).

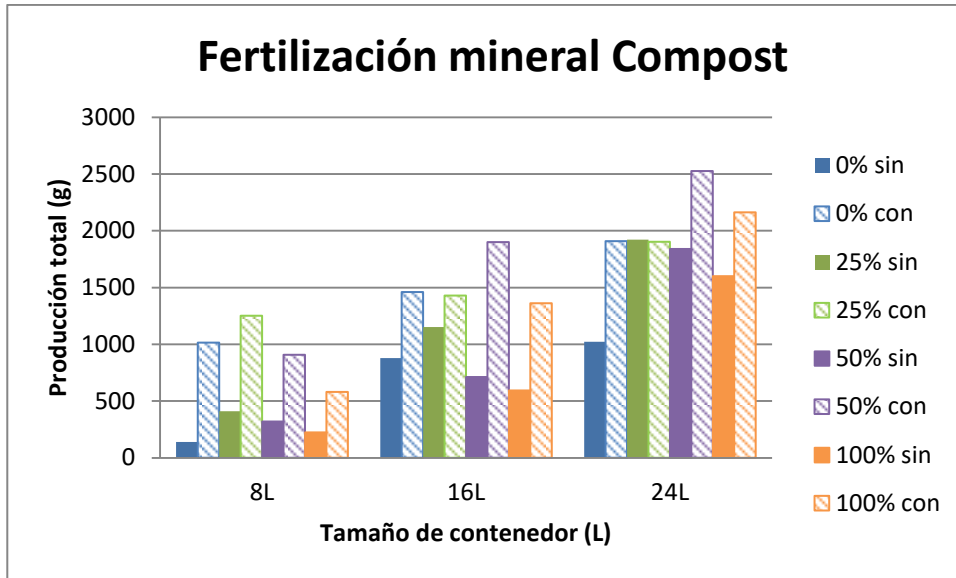


Figura 9. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según la producción total.

En el vermicompost con contenedores de 24L, tanto para 25% como para 100% de este sustrato, no hay mayor producción con fertilización mineral (Figura 10).

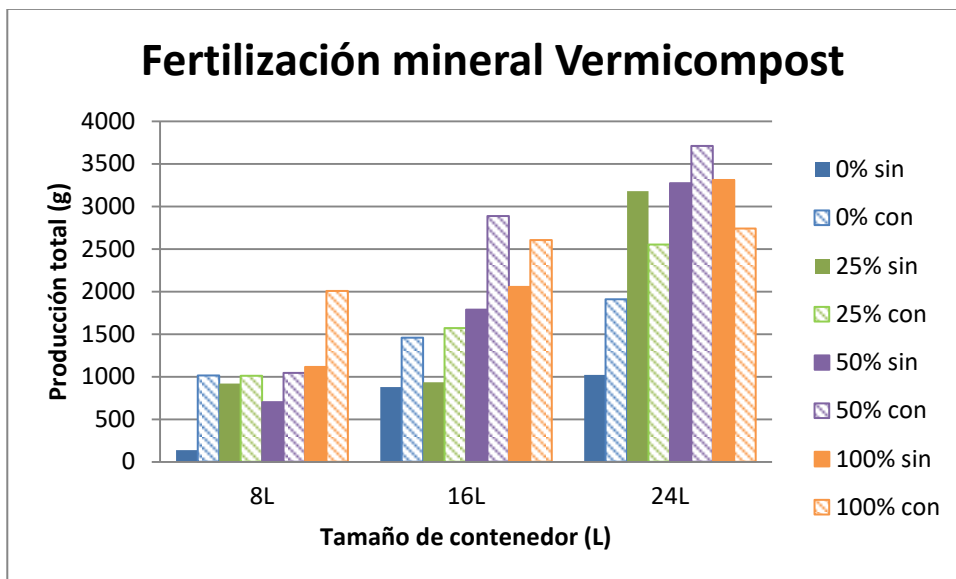


Figura 10. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según la producción total.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y fertilización mineral) se comprueba que para el sustrato perlita, tanto los factores como la interacción de los dos tienen un efecto significativo en la producción total (Sig. < 0,001 < 0,05). Esto también ocurre cuando se analiza el sustrato de vermicompost. Sin embargo, para el compost los factores fijos sí tienen un efecto significativo por separado (Sig. < 0,001 < 0,05) pero, por el contrario, la interacción de ambos no (Sig. = 0,710 > 0,05). Por lo que en este caso, sí se podrá afirmar que el tratamiento de fertilización mineral aplicado tiene repercusión directa en la producción conseguida.

Tanto el compost como el vermicompost, son dos sustratos con importantes cantidades de nutrientes disponibles para los tomates. Tanto al aumentar la proporción de estos sustratos en la mezcla como al aumentar el volumen del contenedor, se aumenta la cantidad de nutrientes que el compost y el vermicompost pueden suministrar a cada planta de tomate para cubrir sus necesidades.

En los contenedores pequeños, aportar abono mineral extra aumenta claramente la producción puesto que la cantidad de compost y vermicompost contenida en cada contenedor, no es suficiente para satisfacer las necesidades de nutrientes de cada planta de tomate. Sin embargo, al aumentar el tamaño de contenedor y la proporción de compost o de vermicompost en el medio de cultivo, el efecto de la fertilización mineral se reduce e incluso se llega a anular, como ocurre en los contenedores de 24 litros con más de un 25% de compost o vermicompost en el medio de cultivo. Además existen ligeras diferencias entre el compost y el vermicompost ensayados.

5.1.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado

La gran diferencia entre las características de los diferentes tipos de fertilizantes orgánicos, hace necesario un estudio sobre ellos. Pudiendo aportar, en igual cantidad, mayor o menor beneficio para la producción de la HU.

En el presente estudio, las unidades experimentales con vermicompost obtuvieron mayor producción total ($p < 0,05$), aumentándose esta diferencia con el aumento de la concentración del sustrato añadido a la turba (Figuras 11, 12, 13).

Aportando vermicompost en cualquiera de las proporciones y de los tamaños de contenedor, se aumenta la producción total comparando con un 100% de turba como medio de cultivo ($p < 0,05$). Sin embargo, añadiendo compost (C) no sucede lo mismo. En este caso, dependiendo de la dimensión del contenedor, hay una tendencia diferente. En el tamaño menor se alcanza un máximo de producción con 25% de C, en el tamaño mediano con 25%-50%, y en el más grande con 50% de C. Por lo que parece que al aumentar el tamaño, la planta admite más cantidad del mismo. Por lo que, ajustando bien la proporción de estos abonos orgánicos se podrá sustituir, por lo menos en parte, la aportación de fertilizantes inorgánicos. Esto mismo sugieren estudios como el de Lazaro *et al.*, 2009.

Como se ha mencionado anteriormente, los dos fertilizantes presentan distintas características. El vermicompost está más mineralizado que el compost por lo que la disponibilidad de sus nutrientes, a corto plazo, es superior. Por otra parte, la granulometría del compost es más fina, por lo que es un sustrato menos aireante que el vermicompost, que está conformado de macroagregados mayores que facilitan más el drenaje. Esto es importante debido a que al mezclarse ambos sustratos con un sustrato poco aireante, como es la turba, la mezcla final en el caso del compost ha podido ser asfixiante. En diversas ocasiones se observaron problemas de drenaje, al encontrarse macetas encharcadas, especialmente en las mezclas con mayor proporción de compost.

A su vez, otra diferencia muy notable entre el compost y el vermicompost está relacionada con sus propiedades biológicas. Estas están en la composición de la comunidad bacteriana y en la abundancia de hongos, incluso cuando se usa el mismo residuo orgánico como material de alimentación. Considerando que la mayoría de efectos beneficiosos del compost y vermicompost está relacionado con sus propiedades biológicas, estas diferencias podrían determinar efectos bastante diferente en el crecimiento de la planta y la morfología (Lazcano et al., 2009), dando producciones dispares como sucede en el estudio.

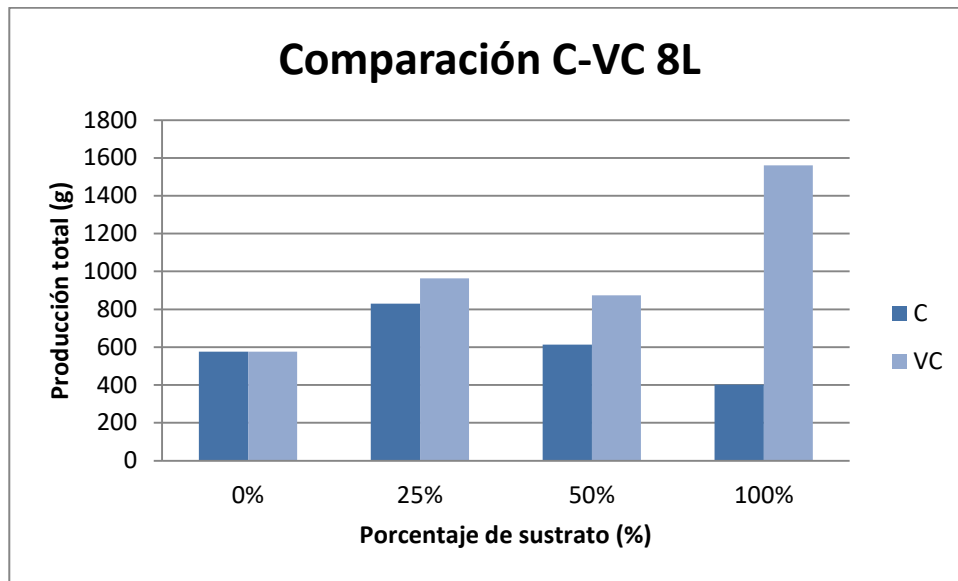


Figura 11. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 8L según la producción total.

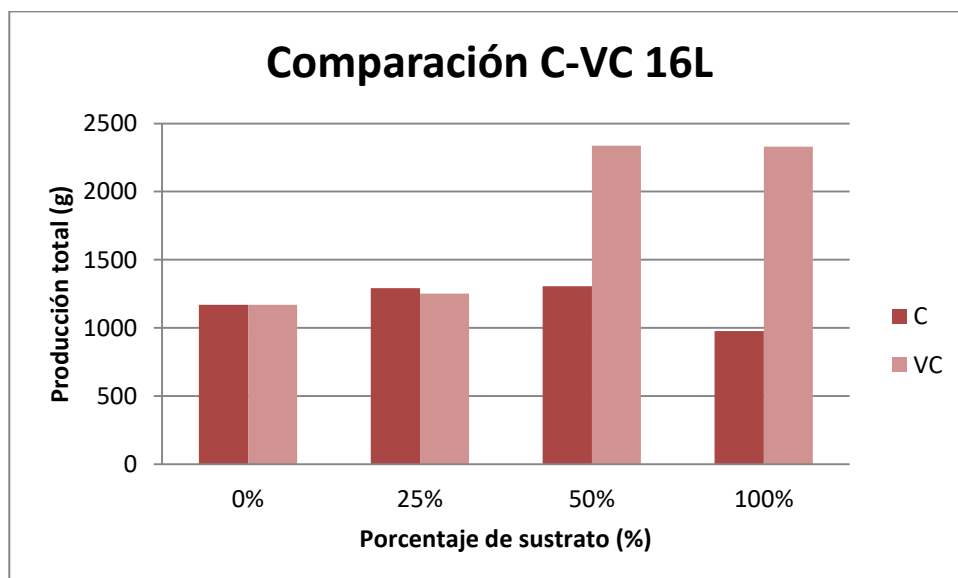


Figura 12. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 16L según la producción total.

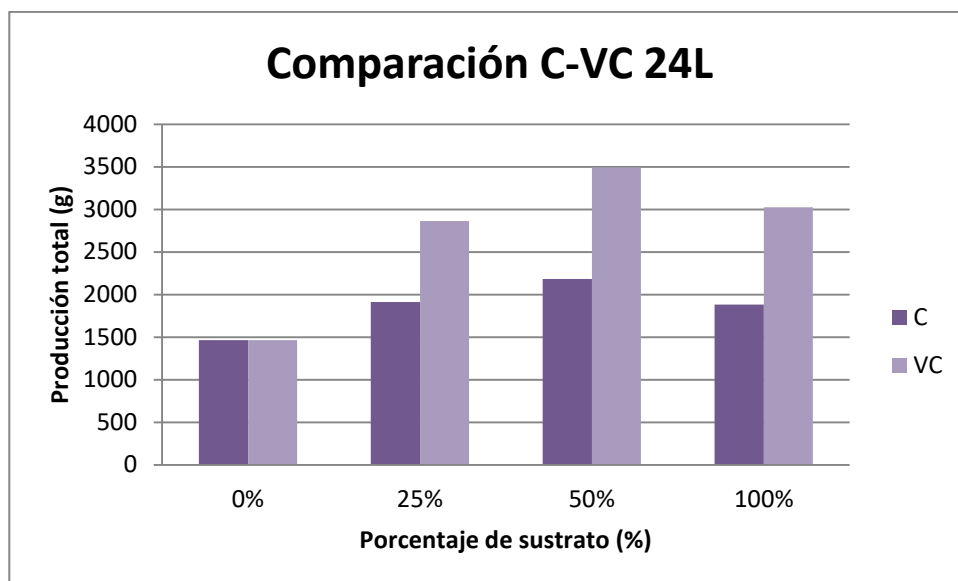


Figura 13. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para contenedores de 24L según la producción total.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y tipo de sustrato), se comprueba que el modelo analizado explica una parte significativa (Sig. < 0,001 < 0,05) de la variación observada en la variable dependiente (PT). Además, tanto según el sustrato como el tratamiento, poseen entre ellos medias de la producción total significativamente diferentes (Sig. < 0,001 < 0,05). Sin embargo, la interacción entre ambos factores no tiene un efecto significativo en la producción (Sig. = 0,195 > 0,05). Con esto podemos confirmar que el tipo de compost utilizado sí determina la producción que vamos a obtener.

5.2 Número de tomates (NT)

Los sustratos con 50% de vermicompost (VC), con fertilización inorgánica o no, obtuvieron la producción con mayor número de tomates ($p < 0,05$), con una media de aproximadamente 23 tomates. Por el contrario, las plantas con 100% de perlita (P) sin suplementación mineral (sin) y de 24L con suplementación, fueron las que menor número de tomates produjeron ($p < 0,05$), con cifras de producción nula de tomates (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados de número de tomates.

Vol.		P			C			VC			T
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%
8L	Sin	0	3	5	3	4	4	9	6	9	2
	Con	2	10	10	6	8	6	14	8	9	10
16L	Sin	0	4	5	7	6	10	12	15	6	8
	Con	4	11	13	9	12	9	20	17	13	12
24L	Sin	0	7	5	11	12	11	20	23	17	9
	Con	0	12	19	15	19	13	15	23	18	15

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; Vol., volumen; sin, sin fertilización mineral; con, con fertilización mineral.

5.2.1 Comparación tamaño de contenedor

Como se puede apreciar en las tres siguientes figuras (Figuras 14,15 y 16), al aumentar el tamaño de contenedor (TC), aumenta la media de la cantidad de tomates por planta, al igual que sucedía con la producción en peso.

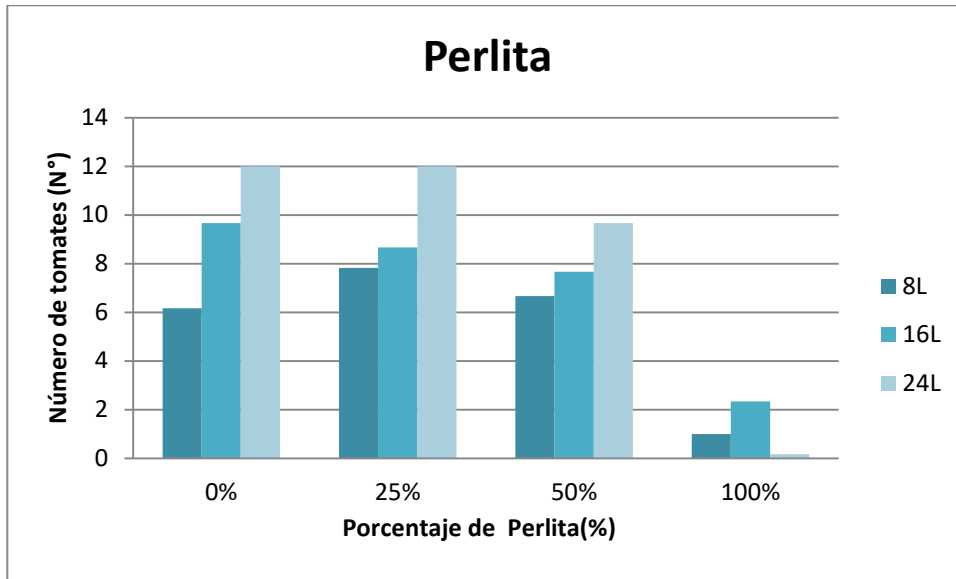


Figura 14. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.

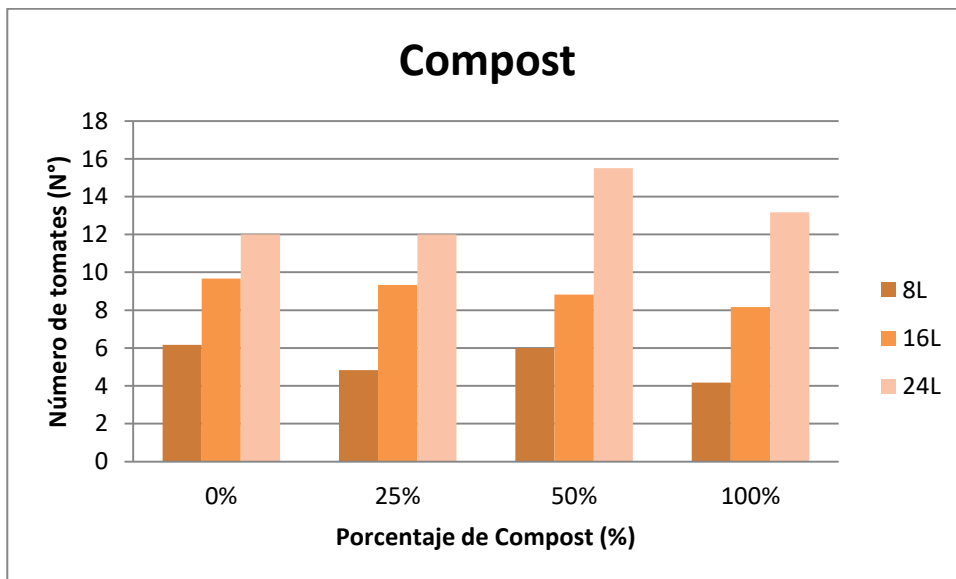


Figura 15. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.

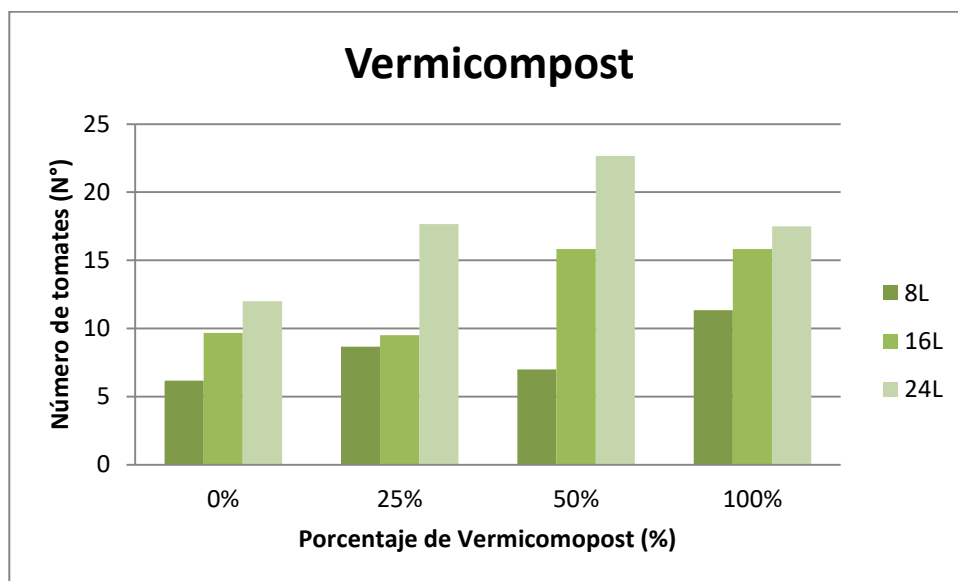


Figura 16. Influencia del tamaño del contenedor sobre la producción en número de tomates en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.

Al igual que ocurre con la producción, a mayor cantidad de medio de cultivo mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, por lo que lograrán satisfacer sus necesidades con mayor facilidad y dedicarles más a la producción. Además, también se retendrá mayor cantidad de agua, por existir un volumen mayor donde poder retenerla, ayudando así al desarrollo de las mismas por lo que se obtendrán mayor número de tomates.

De acuerdo con el análisis de varianza para las medias (ANOVA), se detectaron diferencias significativas en el número de tomates producidos entre los diferentes tamaños de contenedor para el sustrato de compost (C) y vermicompost (VC). Por lo que, para ambos casos, rechazaremos la hipótesis de igualdad de medias. Consecuentemente, se concluye que hay diferencias significativas entre las medias del número de tomates según el tamaño de contenedor en el que se produzcan, para los casos mencionados. Por el contrario, para el caso de la perlita no. Tras el análisis *post-hoc*, se comprueba que tanto para el C como para el VC existen diferencias significativas en todos los casos (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados análisis de varianzas y medias para número de tomates.

		P	C	VC
TC	ANOVA	0'157	<0'001	<0'001
	Tukey	ninguno	todos	todos

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor.

Como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 12), tanto para el sustrato C como para el VC hay una correlación lineal positiva. Por lo que se puede decir que la variable número de tomates varía según el volumen de maceta empleado (TC), aumentando el número de tomates por planta al aumentar el volumen del contenedor. Si cabe mencionar que para el caso del compost, la correlación existente es mayor.

Tabla 12. Resultados de correlación para el número de tomates producidos por planta.

		P	C	VC
TC	Pearson	0´228	0´672**	0´578**
	Sig.	0´054	<0´001	<0´001
TC	Spearman	0´189	0´690**	0´595**
	Sig.	0´113	<0´001	<0´001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor; Sig., significación.

5.2.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en el medio de cultivo

En este caso, el PS tiene diferente comportamiento según de que sustrato se esté hablando, no hay una variación general unificada, ya que cada sustrato actúa de diferente modo.

Para el caso de la perlita, se puede apreciar (Figura 17) que un aumento en el porcentaje de la misma tiende a disminuir el número de tomates producidos por planta. Esto se debe a que, como se ha mencionado anteriormente, no contiene nutrientes esenciales y necesarios para las plantas, al contrario que la turba, por lo que sustituyendo esta última por perlita, disminuiríamos la cantidad de nutrientes disponibles, haciendo que disminuya su producción en peso y número de tomates. Excepcionalmente en los contenedores de 8L la mayor producción, en cuanto a número de tomates, se encuentra con un 25% de perlita, pero la diferencia es mínima y además no sigue el mismo patrón que con la producción en peso, por lo que aun dando menos tomates con 0% de perlita hay una producción en peso total muy parecida.

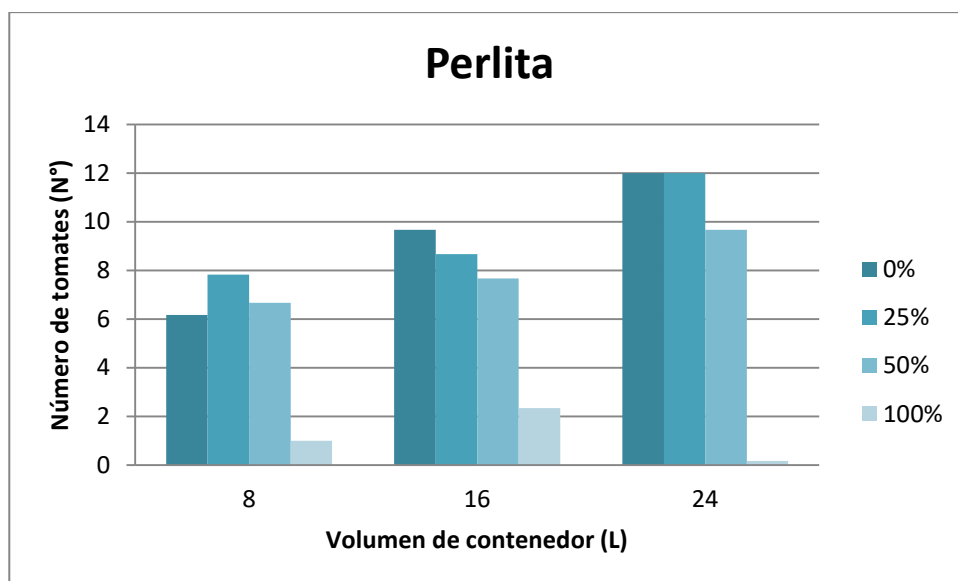


Figura 17. Influencia de la proporción de perlita en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

Para el caso del compost, no hay una tendencia común (Figura 18). Por lo que se podría decir que el porcentaje de compost no condiciona el número de tomates producidos.

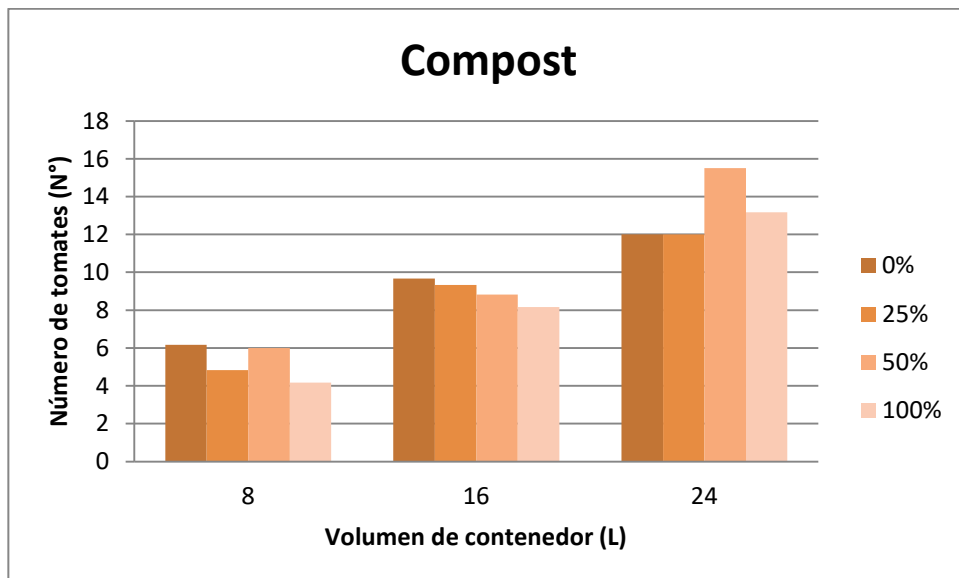


Figura 18. Influencia de la proporción de compost en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

En este último caso, al igual que para el compost, no existe una tendencia clara, pero se puede intuir que al aumentar el porcentaje de vermicompost aumenta la cantidad de tomates (Figura 19). Puede exceptuarse el caso de los contenedores de mayor tamaño (24L), que al igual que en la producción total, con el 100% de compost disminuye el número de tomates producidos. Pudiendo ser por igual motivo, la fitotoxicidad. Con el vermicompost y con el compost, en los contenedores de 24L, se obtiene el mayor número de tomates con una mezcla con turba en la proporción 50/50 (v/v).

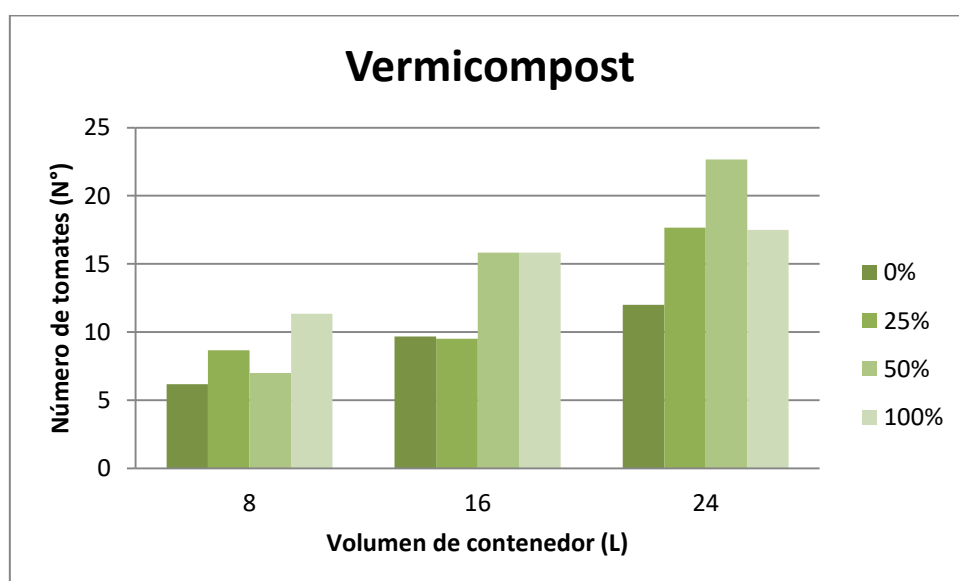


Figura 19. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción en número de tomate cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

De acuerdo con el análisis ANOVA para el análisis de medias, se detectaron diferencias significativas en el número de tomates producidos entre los diferentes porcentajes de sustrato (PS) utilizado para el caso de la perlita (P) y el vermicompost (VC). Sin embargo no se dieron para el compost (C), por lo que no se podrá rechazar, en este último caso, la hipótesis de igualdad de medias. Tras el análisis *post-hoc* mediante test de Tukey, para los dos casos en los que hubo diferencias significativas, se comprueba que en la perlita existen diferencias significativas entre el 100% y el resto de porcentajes y en el vermicompost entre el 0% con el 100% y el 50% (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados análisis de varianzas y medias para número de tomates según el porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	ANOVA	<0'001	0'761	0'017
	Tukey	100% con todos	ninguno	0% con 100 y 50%

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato.

En cuanto a las correlaciones de Pearson (Tabla 14), que la variable número de tomates tiene una correlación lineal con el porcentaje de sustrato para los sustratos P y VC. Pero con una gran diferencia ya que para el caso de la P la relación será negativa, por lo que al aumentar el porcentaje de dicho sustrato disminuirá la producción, al contrario de lo que pasa con el vermicompost. Esto mismo sucede con la variable de producción total.

Tabla 14. Resultados de correlación para número de tomates producidos con el porcentaje de sustrato añadido (PS).

		P	C	VC
PS	Pearson	-0'582**	-0'040	0'316*
	Sig.	<0'001	0'740	0'007
PS	Spearman	-0'570**	-0'061	0'315*
	Sig.	<0'001	0'610	0'007

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato; Sig., significación.

5.2.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica

Como se puede apreciar en las tres siguientes figuras (Figuras 20, 21 y 22), al igual que con la producción total, hay una tendencia general al aumento del número de tomates por planta al suministrarle fertilización mineral. Esta diferencia es mucho más notoria con el sustrato de perlita (Figura 20) en el que claramente la escasez de nutrientes ha sido un factor limitante de la producción lo que ha reducido el número de flores, y frutos, por planta. Por lo que con una suplementación mineral se pueden aumentar el vigor y el número de frutos por planta.

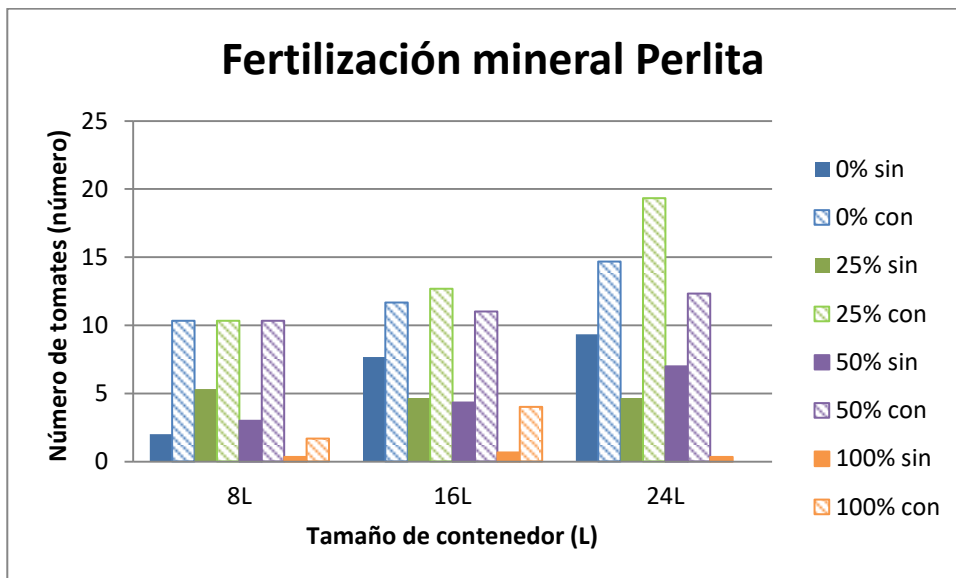


Figura 20. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según el número de tomates.

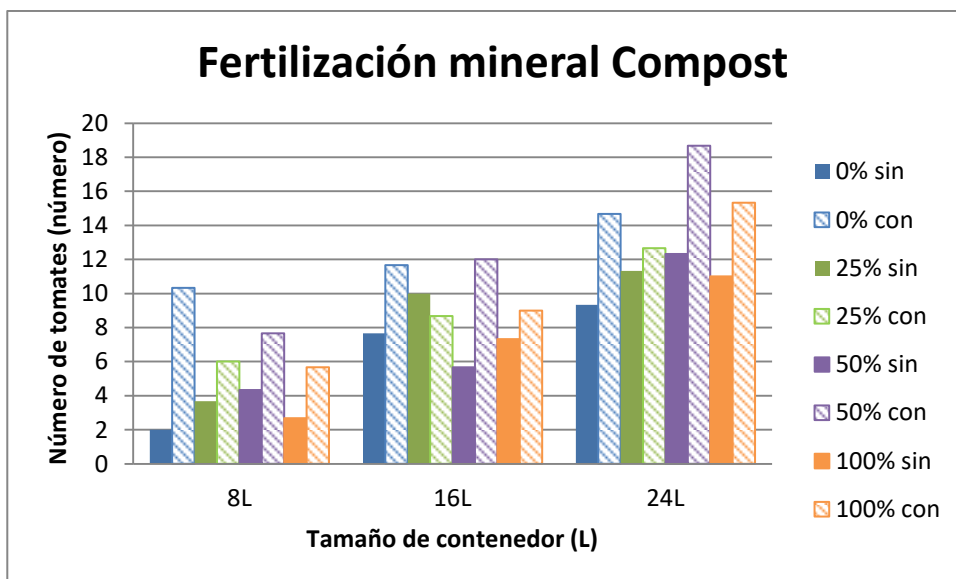


Figura 21. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según el número de tomates.

Con compost y con vermicompost los resultados son muy parecidos a los de producción en peso, ya presentados. Sin embargo, algo particular pasa con el vermicompost con tamaño de contenedor de 24L, ya que con 50% del mismo se obtiene igual número de tomates producidos pero al aumentar el % con fertilización mineral, se produce menos (Figura 22). Esto puede suceder por haber una fitotoxicidad por exceso de nutrientes que hace que su producción disminuya (Adams, 1978).

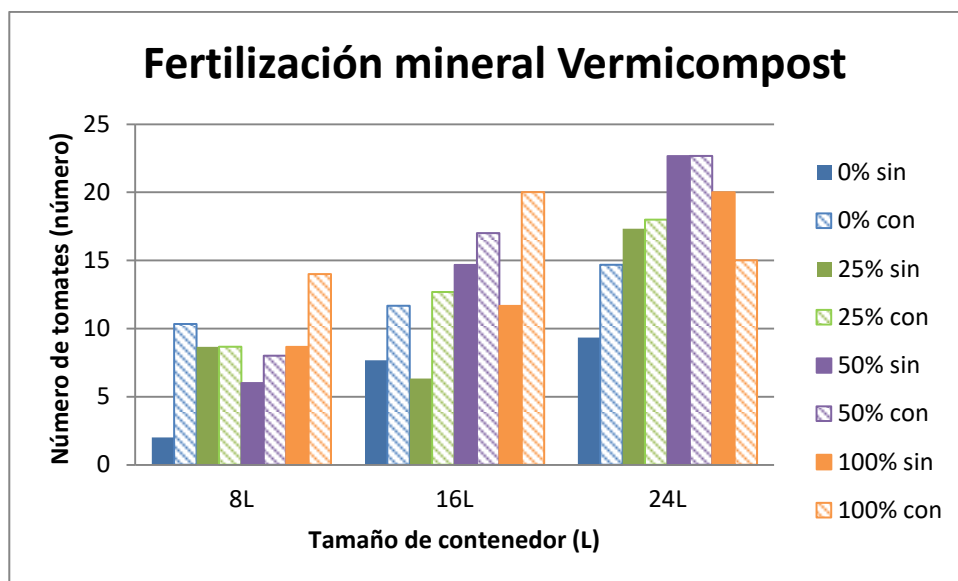


Figura 22. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y fertilización mineral) se comprueba que para el sustrato perlita, tanto los factores como la interacción de los dos, tienen un efecto significativo en la producción total (Sig. < 0,001 < 0,05). Esto también sucede cuando se analiza el sustrato de vermicompost. Sin embargo, para el compost los factores fijos sí tienen un efecto significativo por separado (Sig. < 0,001 < 0,05) pero, por el contrario, la interacción de ambos no (Sig. = 0,402 > 0,05). Por lo que, como para la producción en peso total, se podrá afirmar que con el compost el tratamiento de fertilización mineral aplicado tiene repercusión directa en el número de tomates producidos.

5.2.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado

Debido a sus diferentes en el procesos de producción, el compost y el vermicompost podrían exhibir diferentes características físicas y químicas que pueden influir de diversas maneras en el crecimiento de la planta y su morfología (Lazcano et al., 2009).

En el presente estudio se ven esas posibles diferencias ya que las unidades experimentales con vermicompost, de manera general, obtuvieron mayor número de tomates que las que tenían compost y únicamente turba (Figura 23, 24, 25).

Queda claro que con la aplicación de cualquier proporción de vermicompost en el medio de cultivo, se consiguen mayores rendimientos en producción de número de tomates que sin ella ($p < 0,05$). Pero no sucede lo mismo con la aplicación de compost (C). En este caso, con el menor tamaño de contenedor se alcanza un máximo de producción con 0% de C (Figura 23), al igual que en el tamaño mediano (Figura 24), y en el más grande con 50% de C (Figura 25). Por lo que parece que al aumentar el tamaño de contenedor la planta admite más cantidad de compost, como se comentó anteriormente.

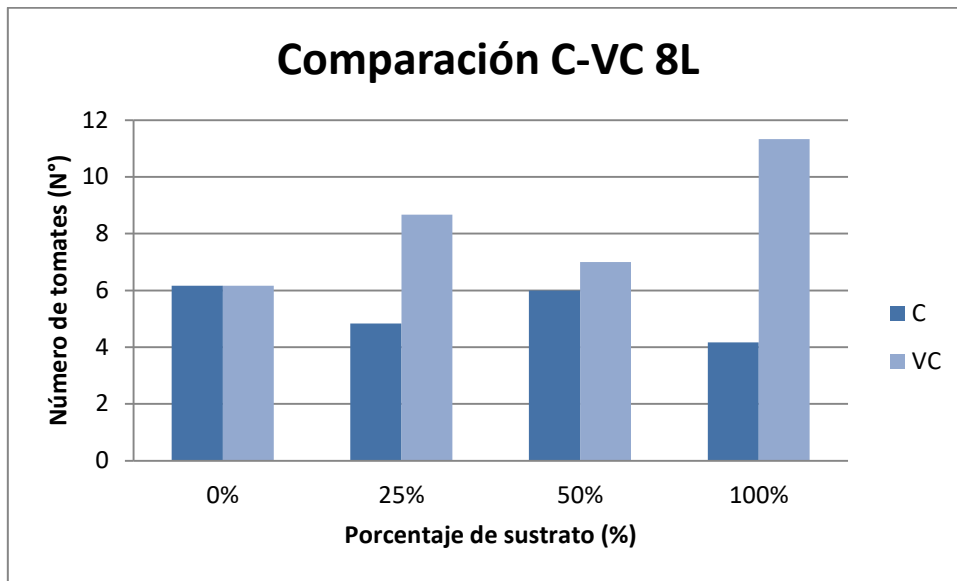


Figura 23. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según el número de tomates producidos.

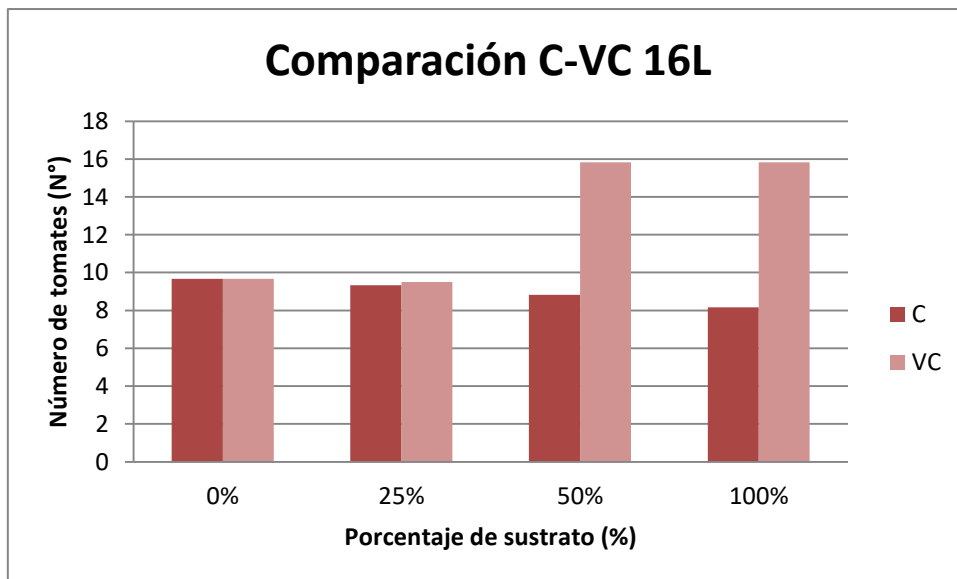


Figura 24. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según el número de tomates producidos.

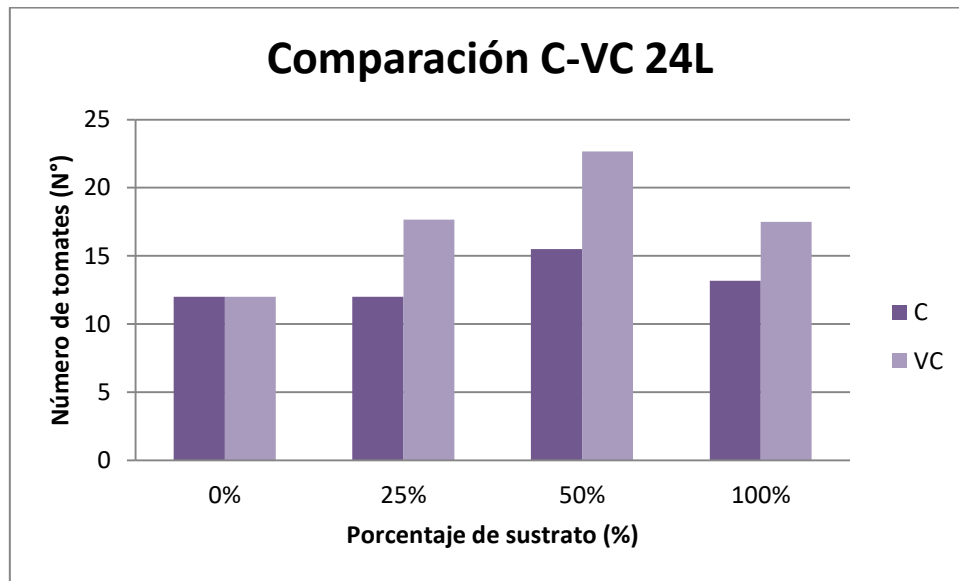


Figura 25. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según el número de tomates producidos.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y tipo de sustrato), se comprueba que el modelo analizado explica una parte significativa ($\text{Sig.} < 0,001 < 0,05$) de la variación observada en la variable dependiente de número de tomates. Además, tanto según el sustrato como el tratamiento, poseen entre ellos medias de producción en número de tomates significativamente diferentes ($\text{Sig.} < 0,001 < 0,05$). Sin embargo, la interacción entre ambos factores no tiene un efecto significativo ($\text{Sig.} = 0,217 > 0,05$). Con esto se puede confirmar que el tipo de compost utilizado sí determina la producción que vamos a obtener en cuanto a número de tomates por planta.

5.3 Peso medio tomates (PM)

Las unidades experimentales con 25% de compost (C) y con fertilización inorgánica (con), obtuvieron la producción con los tomates de mayor peso medio ($p < 0,05$), con una media de aproximadamente 215 g. Por el contrario, las plantas con 100% de perlita (P), fueron las que produjeron tomates con menor peso medio ($p < 0,05$), sin superar los 51 g (Tabla 15).

Tabla 15. Medias de peso medio de tomates cultivados en contenedores de 8, 16 y 24 litros con distintas proporciones de perlita, compost, vermicompost o turba en el medio de cultivo con o sin abono mineral añadido (g).

Vol.		P			C			VC			T
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%
8L	Sin	15	63,	46	101	77	129	129	117	95	73
	Con	18	112	102	88	118	215	150	132	117	98
16L	Sin	32	83	117	77	130	131	203	128	151	116
	Con	51	127	116	151	159	167	134	173	131	126
24L	Sin	11	77	163	141	152	168	166	144	181	114
	Con	0	115	108	132	137	151	185	165	140	138

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; Vol., volumen; sin, sin fertilización mineral; con, con fertilización mineral.

5.3.1 Comparación tamaño de contenedor

Teniendo en cuenta la variable de peso medio de tomate, no queda tan claro que al aumentar el tamaño de la maceta, en cualquiera de los casos, aumente el valor de la variable. Solo se podría confirmar esta tendencia para el sustrato de vermicompost y la perlita, exceptuando cuando contiene un 100% de la misma (Figura 26). Pero en el compost hay una tendencia menos homogénea en cuanto al efecto que tiene el tamaño de contenedor (TC) (Figura 27).

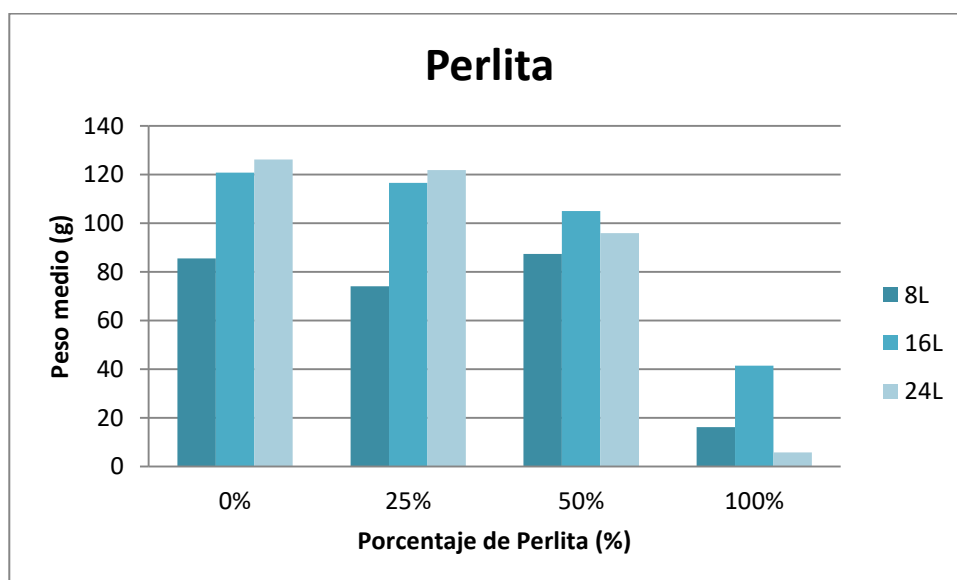


Figura 26. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.

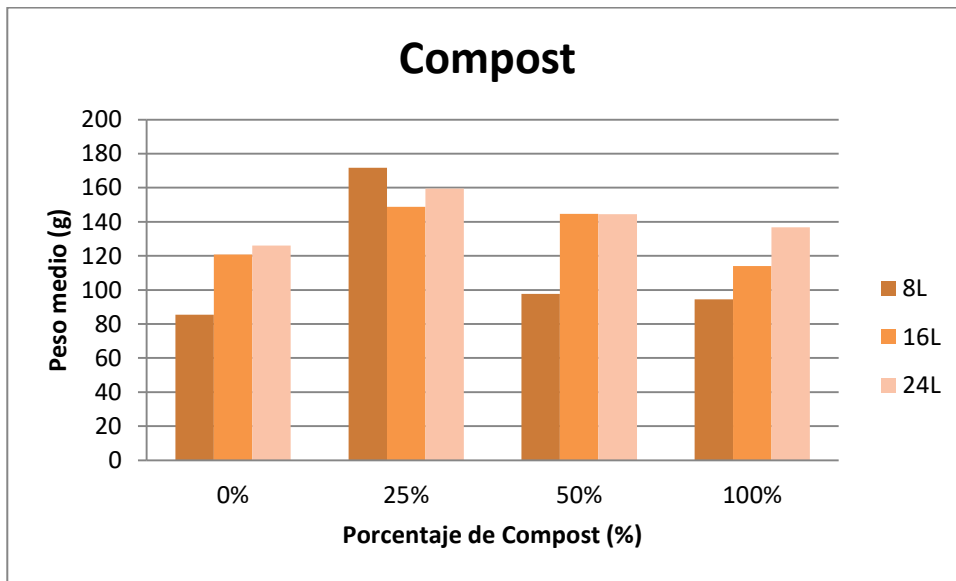


Figura 27. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.

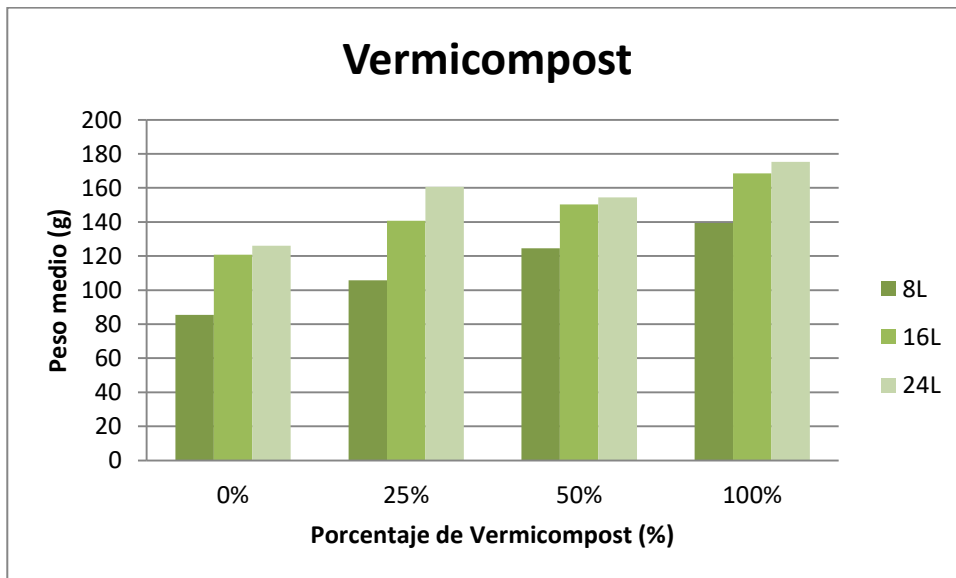


Figura 28. Influencia del tamaño del contenedor sobre el peso medio de los tomates en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.

Mediante la prueba ANOVA, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias por lo que se concluye que hay diferencias significativas entre las medias del peso medio de tomates según el tamaño de contenedor (TC) en el que se produzcan las plantas, únicamente para el caso del vermicompost. Concluyendo que únicamente influye el tamaño en este caso. El análisis *post-hoc* mediante test de Tukey, realizado para el caso con diferencias significativas, se comprueba que las habrá exceptuando la comparación de 24 con 16L (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados análisis de varianzas y medias para peso medio.

		P	C	VC
TC	ANOVA	0´080	0´074	<0´001
	Tukey	ninguno	ninguno	menos 24 y 16L

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor.

Según el test de Pearson (Tabla 17), hay correlación lineal para los sustratos de compost (C) y vermicompost (VC) cuando se relaciona el tamaño de contenedor (TC) con el peso medio de tomates. En ambos, se da una correlación positiva aunque es significativamente más fuerte para el caso del VC. Esto significa que la variable de peso medio de tomates varía según el tamaño de maceta empleado (TC) de manera lineal para los dos sustratos. Pero teniendo en cuenta el test de Spearman, el compost sigue una tendencia de aumento positiva pero se adecua menos a una distribución lineal por lo que, no es estrictamente proporcional este aumento.

Tabla 17. Resultados de correlación para peso medio.

		P	C	VC
TC	Pearson	0´185	0´264*	0´429**
	Sig.	0´120	0´025	<0´001
TC	Spearman	0´180	0´357**	0´457**
	Sig.	0´131	0´002	<0´001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor; Sig., significación.

5.3.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en el medio de cultivo

Las diferencias en el peso medio de los tomates según el porcentaje de sustrato utilizado, llevan tendencias muy distintas dependiendo de qué sustrato estemos hablando.

Si se observa la perlita, se puede apreciar (Figura 29) que un aumento en el porcentaje de la misma tiende a disminuir el peso medio de los tomates. Esto se puede deber a que, como se ha mencionado varias veces, no contiene nutrientes, al contrario que la turba, por lo que sustituyendo esta última por perlita, se disminuirá la cantidad de nutrientes disponibles para la producción. Varios autores coinciden en que el contenido en nutrientes en el medio de cultivo, influye en el tamaño del fruto además de en los días de floración (Cruz Lazaro et al., 2009).

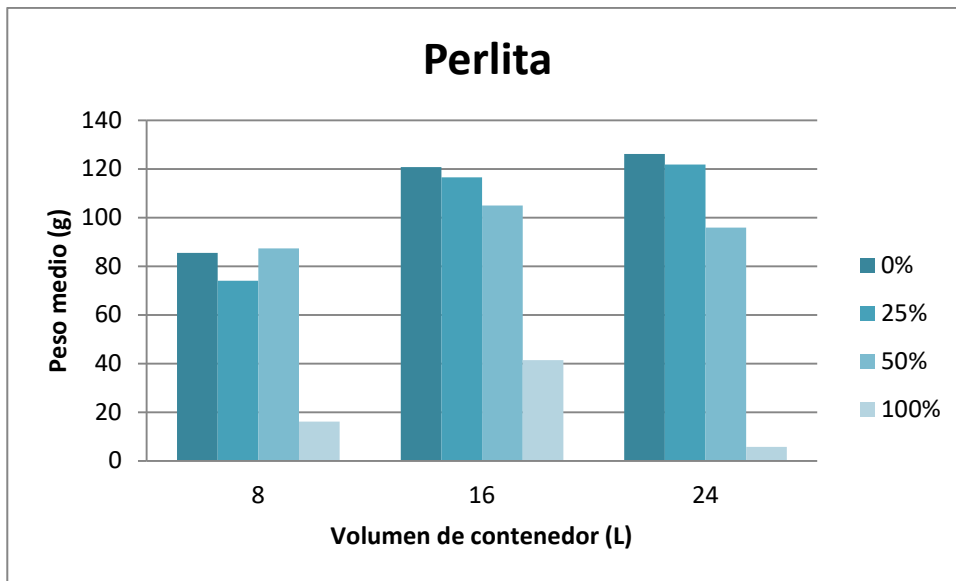


Figura 29. Influencia de la proporción de perlita en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

Sin embargo en el compost, aumenta el peso medio de los tomates al aumentar el porcentaje de dicho sustrato, hasta llegar a un máximo en donde empieza a disminuir esta producción (Figura 30). Situándose este máximo con 25% de C. Esto puede deberse a una posible fitotoxicidad por metales pesados o por un exceso de salinidad, como en casos anteriores. Shalhevet J. y Yaron B. (1973) estudiaron el efecto de la salinidad en el cultivo de tomate y observaron que tanto el número de tomates por maceta, como el peso de los mismo y el rendimiento del cultivo disminuían al aumentar la salinidad del suelo.

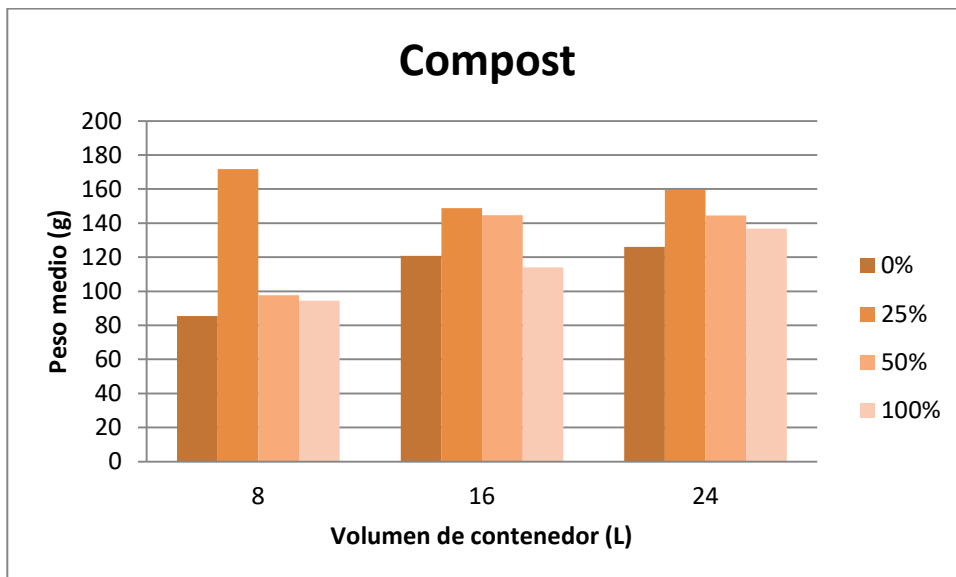


Figura 30. Influencia de la proporción de compost en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

Para el vermicompost, se ve una tendencia a aumentar el peso medio de los tomates al mismo tiempo que se aumenta el porcentaje de este sustrato (Figura 31). Por lo que, de igual manera que en casos anteriores, la planta admite mayor proporción de vermicompost en el medio de cultivo.

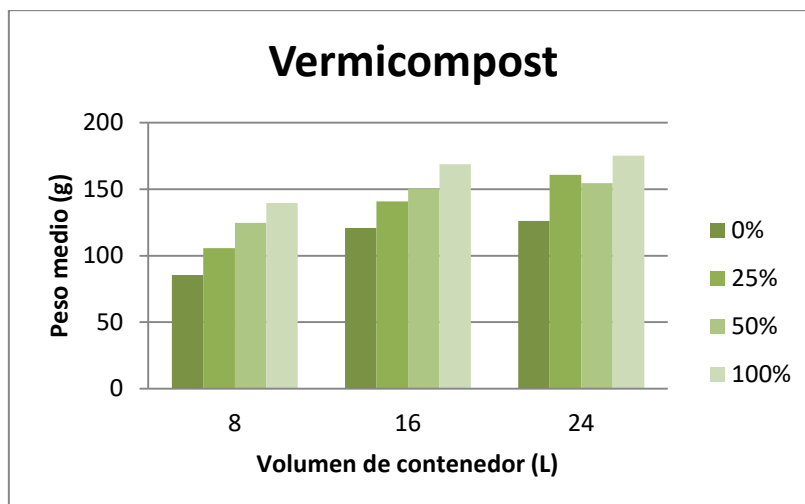


Figura 31. Influencia de la proporción de vermicompost en la producción en el peso medio de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

De acuerdo con el análisis ANOVA para el análisis de medias, se detectaron diferencias significativas para el peso medio de los tomates entre los diferentes porcentajes de sustrato (PS) utilizados para las tres posibilidades. Tras el análisis *post-hoc* mediante test de Tukey, se comprueba que para la perlita existen diferencias significativas entre el 100% y el resto de porcentajes, para el compost entre 0 y 25% además de entre 100 y 50%, y para el vermicompost (VC) entre el 0% con el 100% y el 50% (Tabla 18).

Tabla 18. Resultados análisis de varianzas y medias para peso medio de los tomates según el porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	ANOVA	<0'001	0'003	0'001
	Tukey	100% con todos	0 con 25% y 100 con 50%	0% con 100 y 50%

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato.

Según Pearson (Tabla 19), tanto en la P como en el VC, la variable peso medio tiene una correlación lineal con el porcentaje de sustrato. Pero, como en anteriores ocasiones, para el caso de la P la relación es negativa, por lo que al aumentar el porcentaje de dicho sustrato disminuirá la producción, al contrario de lo que pasa con el vermicompost. Cabe destacar que la correlación en el sustrato P es mucho más fuerte.

Tabla 19. Resultados de correlación para peso medio de tomates con porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	Pearson	-0'708**	-0'085	0'452**
	Sig.	<0'001	0'480	<0'001
PS	Spearman	-0'626**	-0'014	0'452**
	Sig.	<0'001	0'905	<0'001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato; Sig., significación.

5.3.3 Comparación fertilización mineral y orgánica

En contraposición al resto de casos, como se puede apreciar en las siguientes tres figuras (Figuras 32, 33 y 34), no hay una tendencia general al aumento del peso medio de los tomates en cada planta al suministrarle fertilización mineral. Por lo que, se puede decir que la aportación de esta suplementación no hace variar de forma acusada el tamaño de los tomates. Con el sustrato de perlita (Figura 32), sí que en la mayoría de casos supera el tamaño de tomate cuando hay aporte mineral de nutrientes, sobre todo se aprecia esta diferencia en tamaños más pequeños de contenedor. Esto sucede por deficiencias nutricionales ya explicadas con anterioridad.

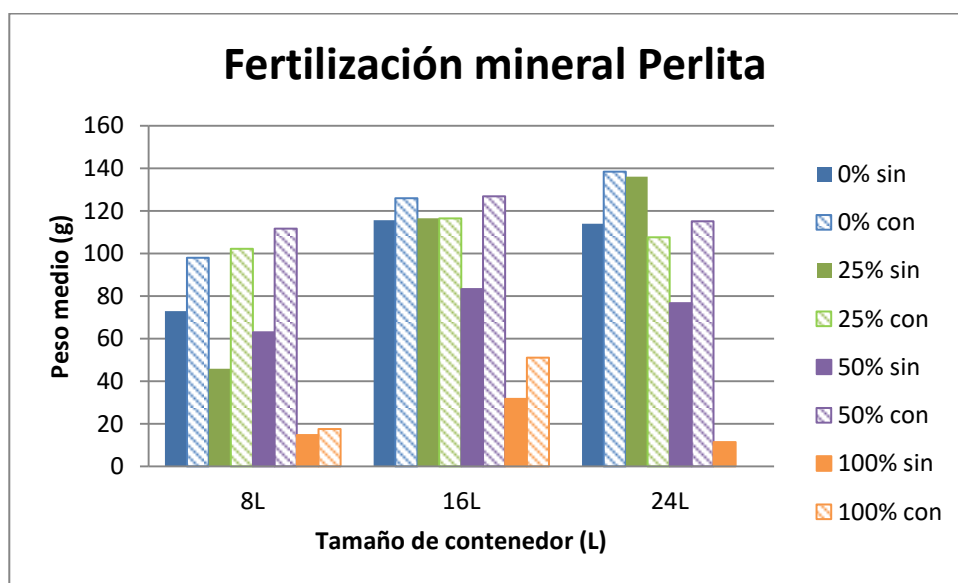


Figura 32. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según peso medio de tomates.

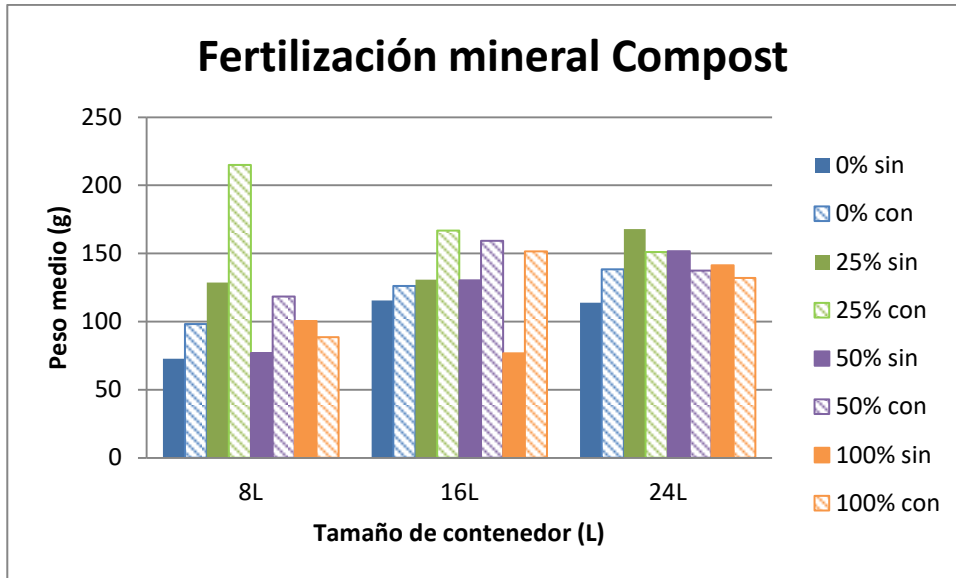


Figura 33. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según peso medio de tomates.

Tanto en el compost (Figura 33) como en el vermicompost (Figura 34) la diferencia es mínima, si comparamos los contenedores con suplementación mineral y sin.

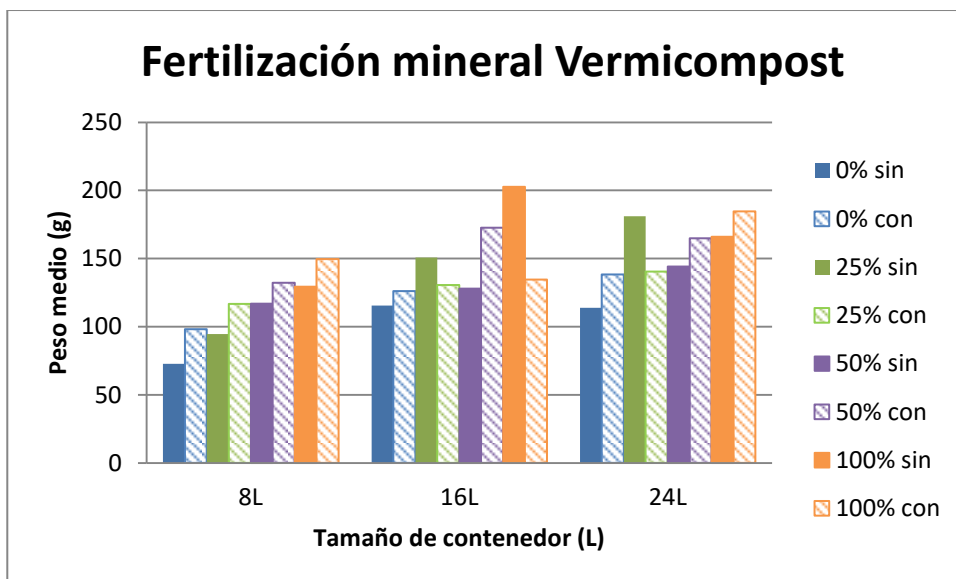


Figura 34. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según peso medio de tomates.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y fertilización mineral), se comprueba que para la perlita los factores fijos sí tienen un efecto significativo por separado (Sig. < 0,001 < 0,05) pero, por el contrario, la interacción de ambos no (Sig. = 0,217 > 0,05). Esto último también sucede con el compost (Sig. = 0,340 > 0,05), en este caso, los factores de manera individual también lo tienen, ya que para la fertilización mineral la significación es de 0,015 y para el tipo de tratamiento de 0,005. En el vermicompost, no existirían diferencias significativas según el tipo de fertilización mineral pero sí para el tipo de tratamiento y la interacción entre ambos. Por lo que, únicamente en la perlita y el compost, se podrá decir que el tratamiento mineral tiene repercusión directa en el peso medio de los tomates por planta.

5.3.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado

Se pretenden analizar las diferencias en el peso medio de los tomates producidos en cada una de las opciones dependiendo del compost utilizado y su proporción.

Para los contenedores más pequeños, 8L, exceptuando de 25% de compost (C), el vermicompost (VC) da tomates de mayor tamaño medio (Figura 35). De manera general con ambas opciones en cualquiera de las proporciones añadidas se consigue un mayor tamaño de fruto que con un 100% de turba. Por lo que se considera una buena opción, beneficiosa para la producción, el aportar compost o vermicompost al medio de cultivo.

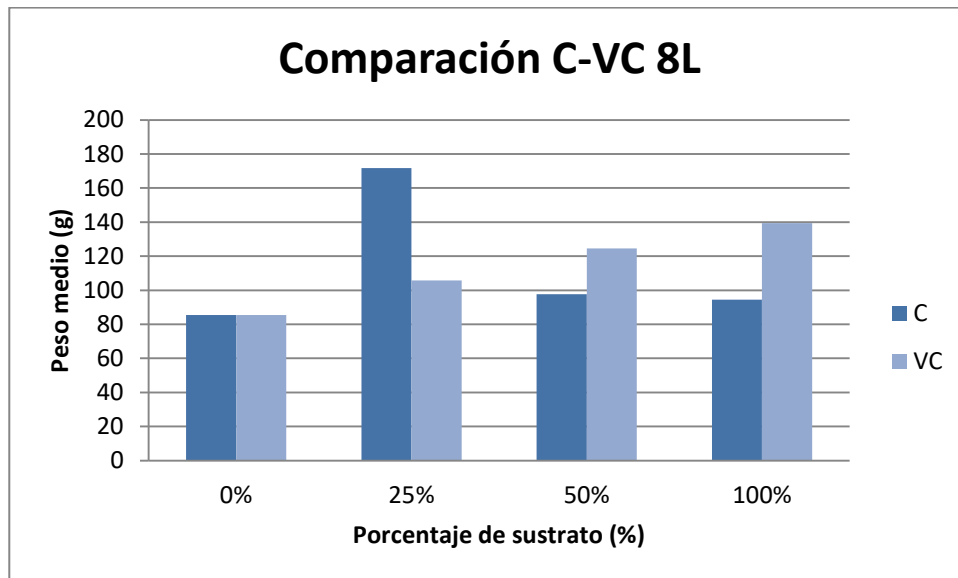


Figura 35. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según el peso medio de los tomates producidos.

La mayor diferencia apreciable se da cuando se tiene el 100% de compost y vermicompost, en ese caso se obtiene mayor peso medio de los tomates con el sustrato vermicompost, probablemente por ser un sustrato menos asfixiante y por posibles fitotoxicidades en el compost (Figura 36). Para el resto de casos se consiguen resultados parecidos, sin grandes diferencias ($p > 0,05$). Cabe destacar que, quitando la excepción mencionada (100% de compost como medio de cultivo), en todo el resto de casos se supera el peso medio de los tomates obtenidos con un 100% de turba como medio de cultivo.

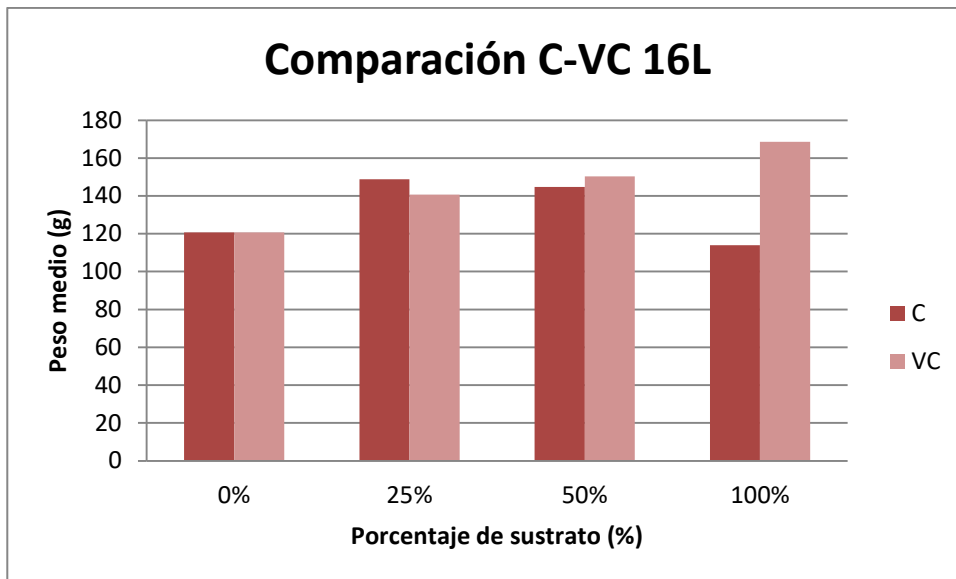


Figura 36. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según el peso medio de los tomates producidos.

Por último, en contenedores con 24L de volumen, se aprecia que el vermicompost da tomates con mayor peso medio pero esta diferencia no es significativa. Encontrándose el máximo con un 25% de dicho sustrato (Figura 37). En este caso las diferencias con el 100% de turba no son tan acusadas pero parece que en su mayoría se iguala o aumenta la producción en cuanto a peso de fruto.

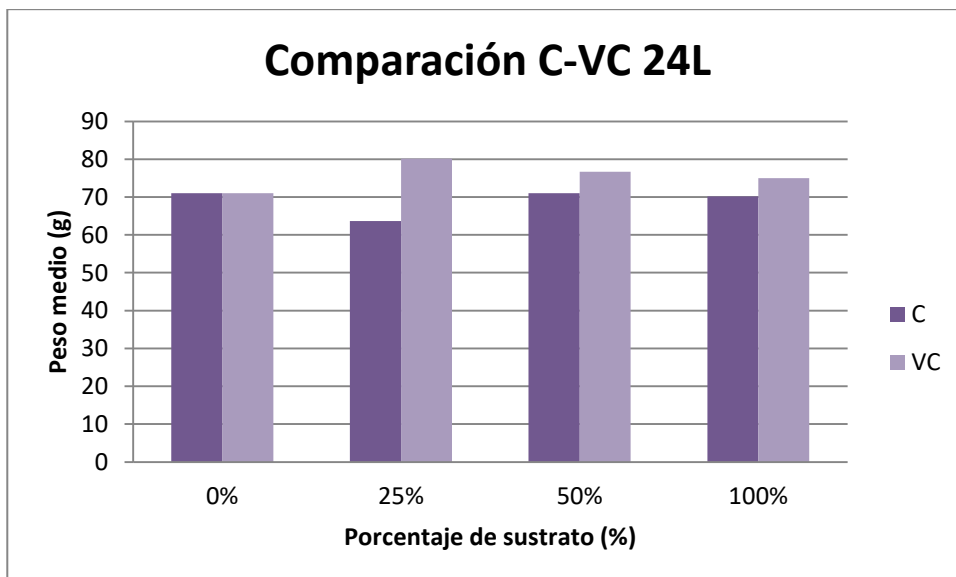


Figura 37. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según el peso medio de los tomates producidos.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y tipo de sustrato), se comprueba que el modelo analizado explica una parte significativa ($\text{Sig.} = 0,002 < 0,05$) de la variación observada en la variable dependiente peso medio de tomates.

Pero según el sustrato (Sig. = 0,089 > 0,05) no se poseen, entre ellos medias significativamente diferente para dicha variable. Sin embargo, tanto el tipo de tratamiento (Sig. = 0,022 < 0,05), como la interacción entre ambos factores (Sig. = 0,004 < 0,05), sí tiene un efecto significativo en el peso medio de los tomates producidos. Por lo que, el efecto de un factor sobre la variable dependerá del valor que tenga el otro factor. Con esto se puede confirmar que para el peso medio de tomates no interfiere el compost por si solo pero sí con la interacción con el tipo de tratamiento.

5.4 Duración de la producción (D)

Los sustratos con 50% de compost (C) y vermicompost (VC), con fertilización mineral, tuvieron un periodo mayor de producción, con una media de aproximadamente 82 días. Por el contrario las plantas con 100% de perlita (P), al igual que en el resto de variables, tuvieron la mínima duración de cosecha ($p < 0,05$), con tan solo un día de producción en la mayoría de los casos (Tabla 20).

Tabla 20. Resultados de la duración de la cosecha (días).

Vol.		P			C			VC			T
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%
8L	Sin	1	41	40	67	53	62	67	53	62	18
	Con	19	53	70	63	73	54	63	73	54	61
16L	Sin	1	68	49	45	53	42	45	53	42	56
	Con	35	59	75	64	62	77	65	62	77	62
24L	Sin	1	69	53	78	71	81	78	71	81	66
	Con	1	63	71	72	82	80	72	82	80	76

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; Vol., volumen; sin, sin fertilización mineral; con, con fertilización mineral.

5.4.1 Comparación tamaño de contenedor

Además como se puede apreciar en las dos siguientes figuras (Figuras 38 y 39), al aumentar el tamaño de contenedor (TC), aumenta la duración del periodo productivo. Sin embargo la tendencia no es tan clara en el vermicompost, aunque si se consiguen las mayores duraciones con el contenedor de mayor tamaño (Figura 40). Como en el resto de ocasiones esto se relaciona con una mayor disponibilidad de nutrientes con un aumento del volumen de contenedor, exceptuando con el 100% de perlita.

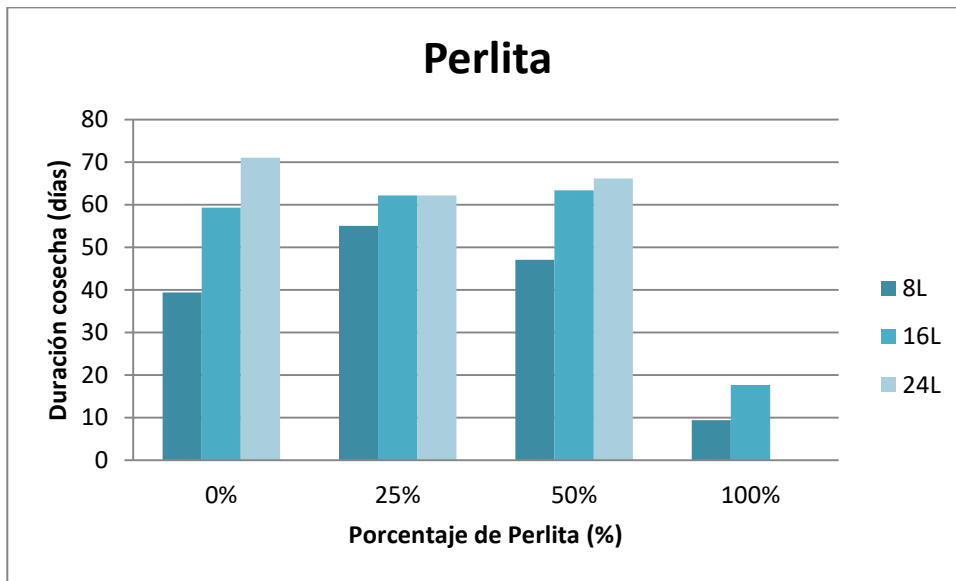


Figura 38. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de perlita en el medio de cultivo.

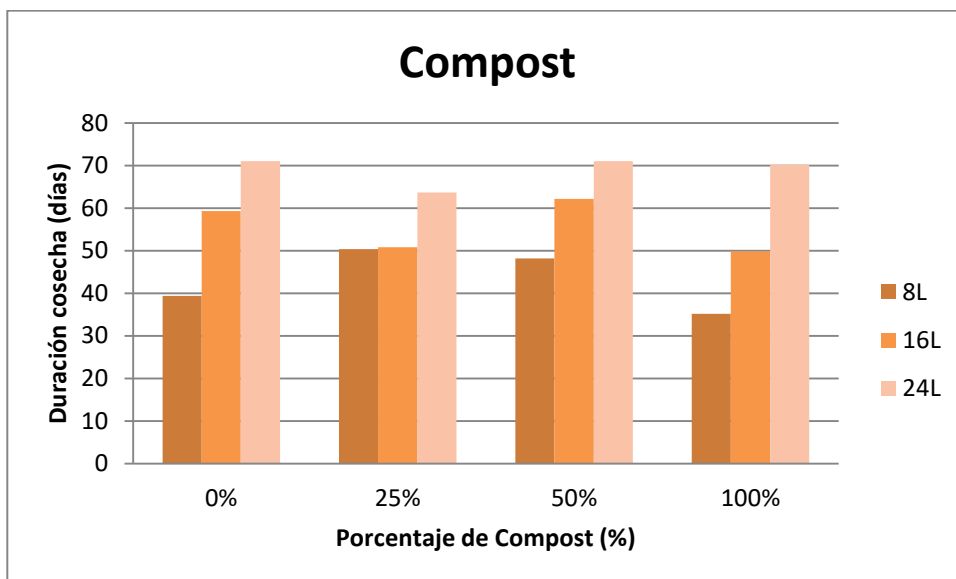


Figura 39. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de compost en el medio de cultivo.

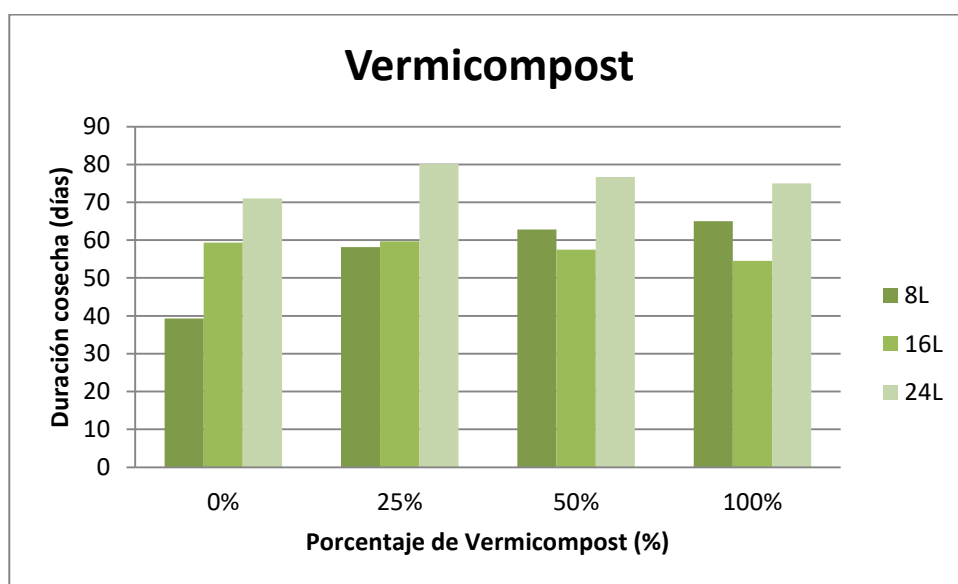


Figura 40. Influencia del tamaño del contenedor sobre la duración de la cosecha en función del porcentaje de vermicompost en el medio de cultivo.

Según la prueba ANOVA realizada, rechazaremos la hipótesis de igualdad de medias por lo que se concluye que hay diferencias significativas entre las medias de la duración de cosecha según el tamaño de contenedor (TC) en el que se produzcan para los sustratos de compost (C) y vermicompost (VC). Tras el análisis *post-hoc* mediante test de Tukey, se comprueba que para el C solo existen diferencias significativas entre las medias de 8 y 24L, y en el VC para 24L con todos los demás tamaños (Tabla 21).

Tabla 21. Resultados análisis de varianzas y medias para la duración de cosecha.

		P	C	VC
TC	ANOVA	0´258	<0´001	0´001
	Tukey	ninguno	8L con 24L	24L con todos

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor.

En cuanto a las correlaciones decir (Tabla 22), que la variable de duración varía según el tamaño de maceta empleado (TC) de manera lineal para los dos sustratos orgánicos. Teniendo una mayor fuerza de correlación en el compost. En ambos casos la relación es positiva.

Tabla 22. Resultados de correlación para duración de la cosecha según el tamaño de contenedor (TC).

		P	C	VC
TC	Pearson	0´164	0´467**	0´381**
	Sig.	0´168	<0´001	0´001
TC	Spearman	0´149	0´432**	0´434**
	Sig.	0´210	<0´001	<0´001

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; TC, tamaño de contenedor; Sig., significación.

5.4.2 Comparación porcentaje de perlita, compost y vermicompost en medio de cultivo

Como se puede apreciar a continuación (Figuras 41, 42 y 43), el porcentaje de sustrato añadido no tiene una repercusión uniforme en ninguno de los tres posibles sustratos (P, C, VC), ni dentro de cada uno de ellos diferenciándolo por tamaño de contenedor. Por lo que se puede decir que no repercute uniformemente en la duración de la cosecha la proporción de sustrato añadido al medio de cultivo ($p > 0,05$). Aunque para el caso de perlita, el tener un 100% de la misma disminuye drásticamente esta duración ($p < 0,05$) (Figura 41). Esto se puede relacionar con el estudio en el que se ha comprobado que añadiendo compost se consigue una aparición más temprana del primer racimo floral superando hasta en un 44,15% al testigo. Relacionándolo con una disponibilidad constante e inmediata de los elementos nutritivos (Márquez-Hernández, 2013). Por lo que mezclando sustratos orgánicos con inorgánicos se consigue una floración más temprana y una mayor duración de cosecha.

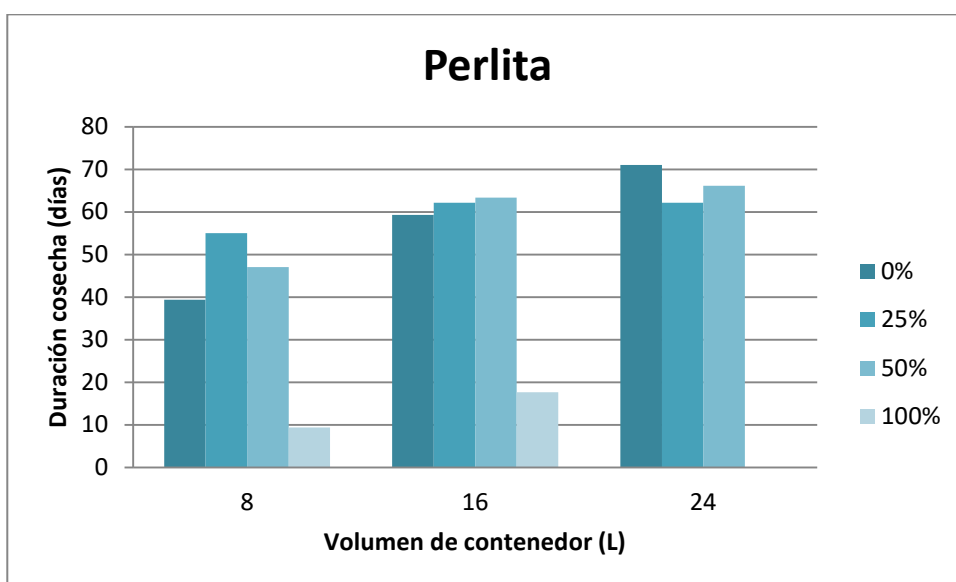


Figura 41. Influencia de la proporción de perlita en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

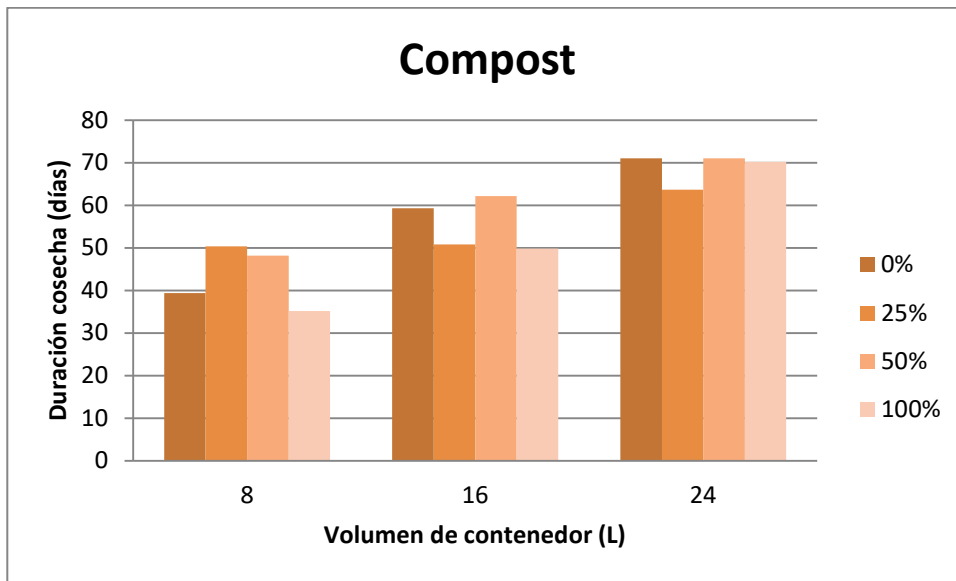


Figura 42. Influencia de la proporción de compost en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

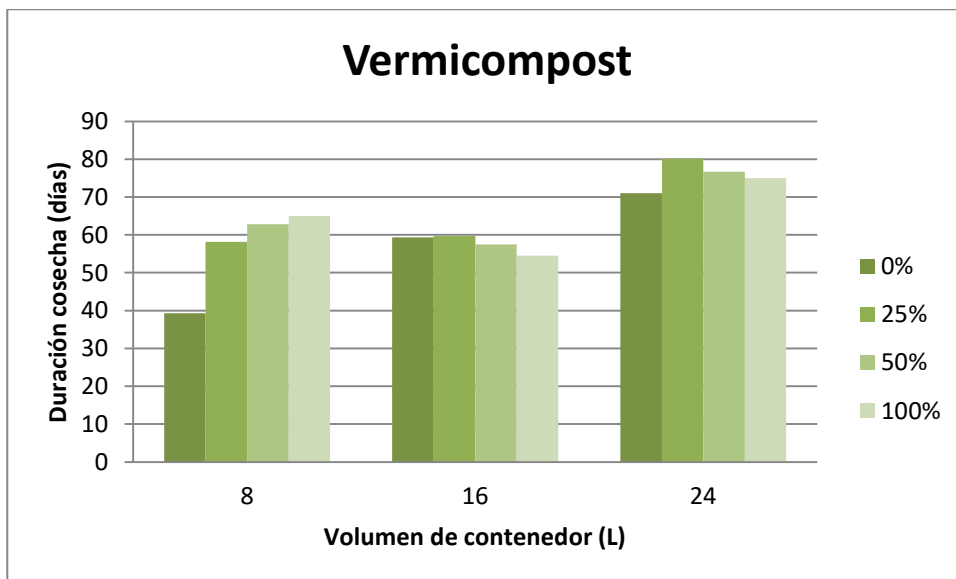


Figura 43. Influencia de la proporción de vermicompost en duración de la cosecha de los tomates cultivados en contenedores de distintos volúmenes.

De acuerdo con análisis estadísticos realizados, existen diferencias significativas únicamente entre las medias en el sustrato perlita (Tabla 23). Además será este sustrato, en el único en el que se muestre una correlación lineal entre la variable de duración de cosecha y el porcentaje de perlita añadido al medio de cultivo (Tabla 24). Esta relación es inversa por lo que, al aumentar la presencia de perlita, disminuirá la duración de la cosecha.

Tabla 23. Resultados análisis de varianzas y medias para duración de la cosecha según el porcentaje de sustrato (PS).

		P	C	VC
PS	ANOVA	<0'001	0'717	0'484
	Tukey	100% con todos	ninguno	ninguno

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato.

Tabla 24. Resultados de correlación para la duración de la cosecha con el porcentaje de sustrato añadido (PS).

		P	C	VC
PS	Pearson	-0'608**	-0'065	0'112
	Sig.	<0'001	0'585	0'347
PS	Spearman	-'531**	-0'051	0'085
	Sig.	<0'001	0'672	0'479

P, perlita; C, compost; VC, vermicompost; T, turba; PS, porcentaje de sustrato; Sig., significación.

5.4.3 Comparación fertilización inorgánica y orgánica

Para la duración de la cosecha, en la perlita se puede apreciar unas medias mayores cuando se añade fertilización mineral (Figura 44). Esto no es tan notorio para los sustratos de compost (Figura 45) y vermicompost (Figura 46). Además, a medida que se aumenta el tamaño de contenedor las diferencias son menores, esto sucede porque las necesidades nutritivas de la planta están prácticamente cubiertas con el aporte de nutrientes del medio de cultivo.

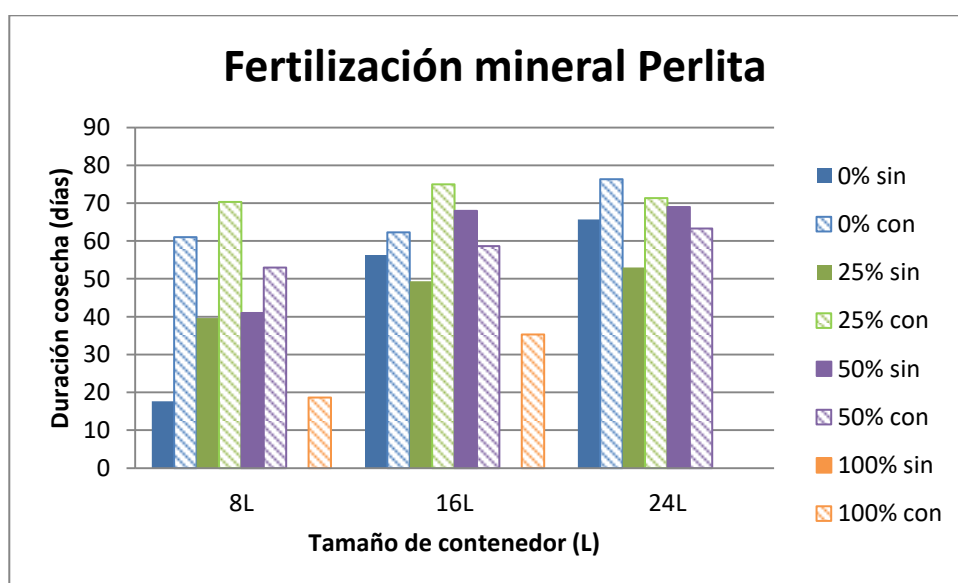


Figura 44. Comparación de fertilización mineral en sustrato de perlita según la duración de cosecha.

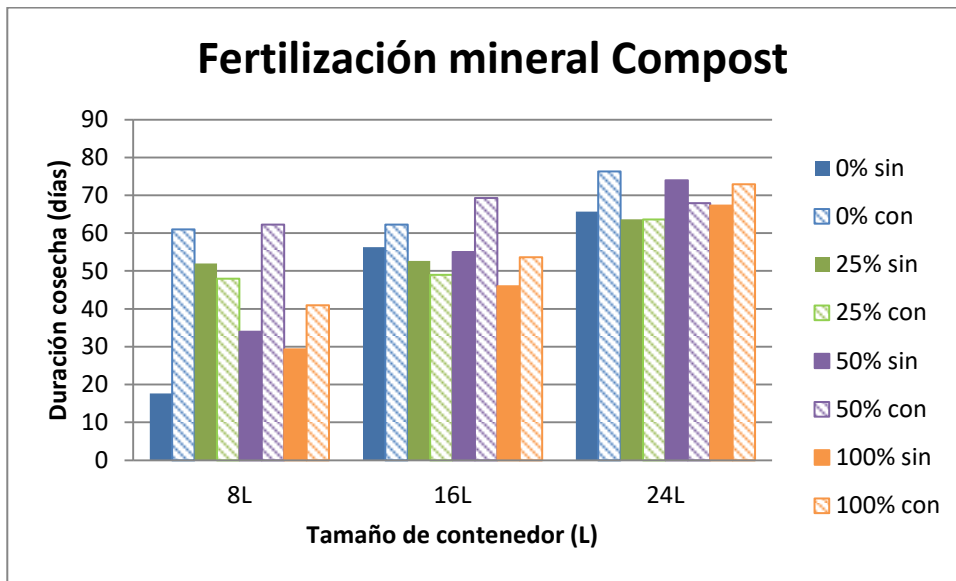


Figura 45. Comparación de fertilización mineral en sustrato de compost según la duración de cosecha.

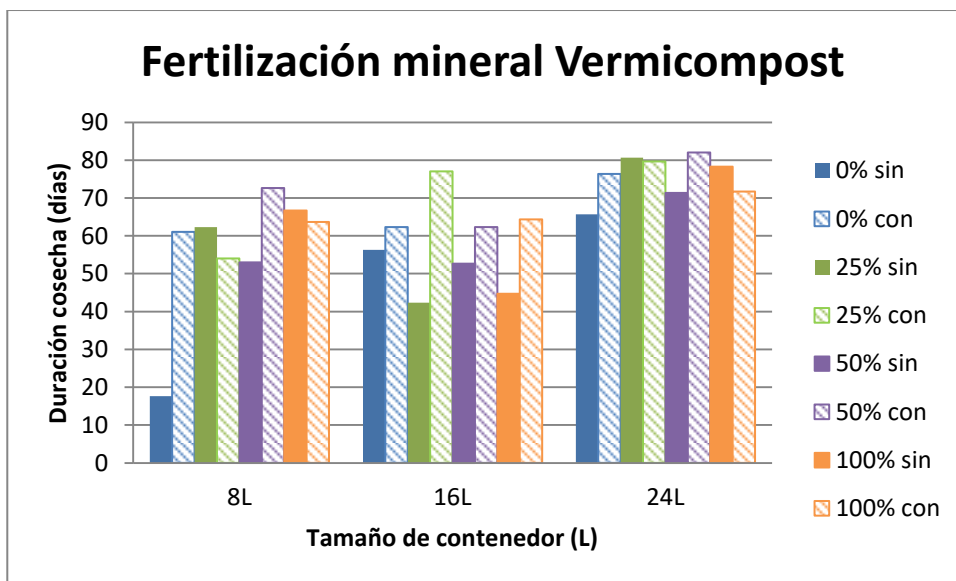


Figura 46. Comparación de fertilización mineral en sustrato de vermicompost según la duración de cosecha.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y fertilización mineral), se comprueba que para la perlita los factores fijos tienen un efecto significativo por separado ($\text{Sig.} < 0,001 < 0,05$) pero, por el contrario, la interacción de ambos no ($\text{Sig.} = 0,428 > 0,05$). Para el compost ninguno de las tres hipótesis nulas se confirma ya que para la fertilización mineral la significación es de 0,065, para el tipo de tratamiento de 0,052 y para la interacción es de 0,744. Por el contrario, en el vermicompost pasa lo opuesto, para las tres opciones la significación es menor a 0,05. Por lo que, teniendo en cuenta como variable la duración de la cosecha, se puede decir que el tratamiento de fertilización mineral repercute significativamente, modificando las medias en sustratos de perlita y vermicompost.

Este resultado cabe de esperar ya que es más posible que en medios de cultivo con perlita haya déficit nutricional ya que esta no aporta ningún tipo de nutriente.

5.4.4 Comparación entre el compost y el vermicompost ensayado

Como se puede observar en las tres figuras que se presentan a continuación (Figuras 47, 48, 49), las unidades experimentales con vermicompost, de manera general, tienen un periodo productivo más largo. Cabe mencionar que esto no se cumple en contenedores de 16L con 50% de sustrato mezclado con turba. Es el único caso en el que el compost sobrepasa al vermicompost, en duración de cosecha.

Exceptuando en contenedores con 8L (Figura 47), en el resto, las duraciones de cosecha son parecidas a las obtenidas con un 100% de turba.

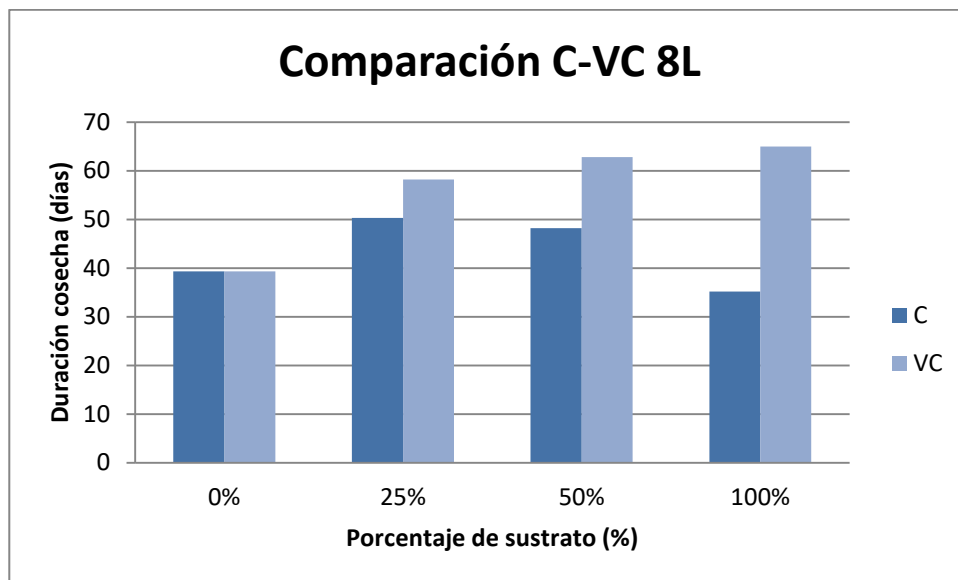


Figura 47. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 8L según la duración de cosecha.

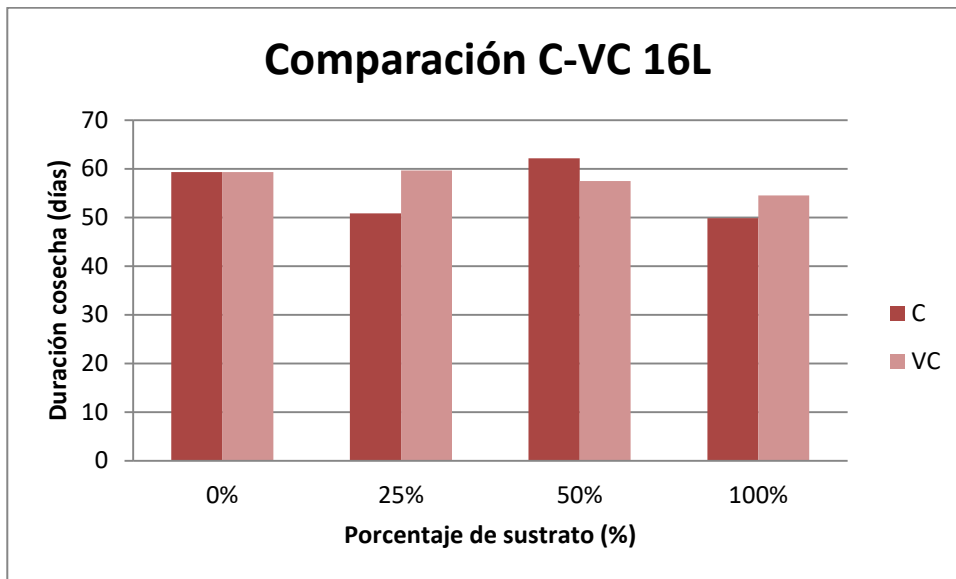


Figura 48. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 16L según la duración de cosecha.

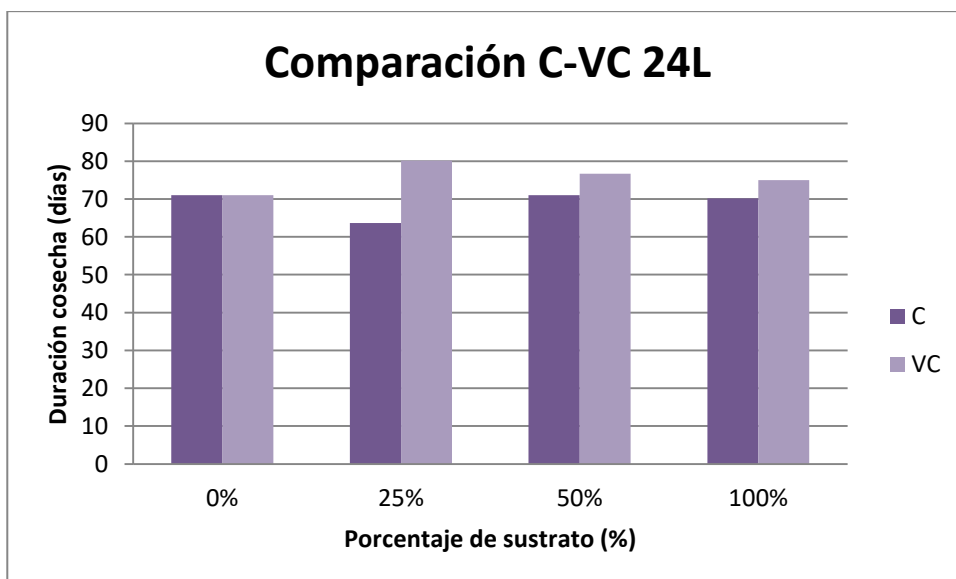


Figura 49. Comparación compost (C) y vermicompost (VC) para tamaño de contenedor de 24L según la duración de cosecha.

Una vez realizado el análisis estadístico mediante ANOVA dos factores (tratamiento y tipo de sustrato), se comprueba que el modelo analizado sí explica una parte significativa ($\text{Sig.} = 0,038 < 0,05$) de la variación observada en la variable dependiente (D). Tanto la variación en el sustrato ($\text{Sig.} = 0,006 < 0,05$) como la del tipo de tratamiento ($\text{Sig.} = 0,011 < 0,05$) tienen diferencias significativas en las medias. Pero, la interacción entre ambos factores no tiene un efecto significativo en la duración de cosecha ($\text{Sig.} = 0,770 > 0,05$). Con esto se puede confirmar que el tipo de compost utilizado y el tratamiento dado sí determinarán la duración de cosecha que se va a obtener.

6. Conclusiones

Los objetivos del presente trabajo sobre cultivo de tomate en contenedor en horticultura urbana, se establecieron para resolver las dudas sobre tres aspectos técnicos:

- 1) Evaluar distintos **medios de cultivo** con distintas proporciones de abonos orgánicos
- 2) Determinar el **tamaño del contenedor** más apropiado
- 3) Valorar la necesidad o no de aplicar **fertilizantes minerales**

La principal conclusión es que existen grandes interacciones entre los distintos aspectos considerados; y que la respuesta del cultivo a un medio o a la aplicación o no de abono mineral, depende del tamaño del contenedor utilizado.

Medios de cultivo:

El compost y vermicompost ensayados pueden sustituir parcial o totalmente a la turba como sustrato para cultivo de tomates en contenedor, obteniéndose resultados similares e incluso, en muchos casos, superiores a los de la turba. Son especialmente recomendadas las mezclas en proporción volumétrica 1-1.

El vermicompost en general ha funcionado mejor que el compost ensayado. Pudiendo conseguir disminuir la necesidad de fertilización inorgánica de síntesis y siendo una buena alternativa para gestionar los residuos orgánicos. De todas formas, habrá que poner especial atención en la proporción en la que sean añadidos ya que pueden producir fitotoxicidad. Por lo que, se recomienda un análisis previo para determinar la cantidad óptima según las características particulares de cada compost.

Tamaño contenedor:

Al aumentar el tamaño del contenedor mejora la respuesta de la planta. En general, para cultivar tomates en contenedor, bajo las condiciones del presente ensayo, es recomendado utilizar un volumen de 24 litros.

Aplicación de fertilizantes minerales:

La aplicación de fertilizantes minerales es imprescindible en contenedores de 8 litros. En los de 16 y 24 litros la fertilización mineral extra es suprimible cuando aumenta la proporción de compost o vermicompost en el medio de cultivo.

Se concluye, finalmente, que el tamaño de contenedor influye en las producciones, que la suplementación mineral es necesaria dependiendo de los objetivos marcados y que cada compost debe de estudiarse individualmente, para poder encontrar la proporción óptima de empleo.

7. Referencias

- Abbasi, P., Al Dahmani, J., Sahin, F., Hoitink, H. A. J. and Miller, S. A. (2002). Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease Vol. 86 Nº 2*, 156-161.
- Adams, P., Graves, C. J. and Winsor, G. W. (1978). Tomato yield in relation to the nitrogen, potassium and magnesium status of the plants and of the peat substrate. *Plant and soil Nº 49*, 137-148.
- Alonso, N. M. (2011). Historia de los huertos urbanos. De los huertos para pobres a los programas de agricultura urbana ecológica. *I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana*. Elche: Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- Cruz Lazaro, E. d., Estrada Botella, M. A., Robledo Torres, V., Osorio Osorio, R., Marquez Hernández, C. and Sánchez Hernández, R. (2009). Tomato production in greenhouse using compost and vermicompost as substrate. *Universidad y Ciencia. Tropico Húmedo*, 59-67.
- EEA. (2006). *Urban Sprawl in Europe: The Ignored Challenge*. Copenhagen: European Environmental Agency.
- Gobierno de Navarra, D. d. (2016). *Plan de residuos de Navarra 2017-2027: Resumen ejecutivo*. Pamplona.
- Google Earth, G. (02 de 03 de 2018). Mapa El sario Universidad Pública de Navarra. Pamplona, Navarra, España.
- Kulak, M., Graves, A. and Chatterton, J. (2012). Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: A life cycle assessment perspective. *Landscape and Urban Planning*, 68-78.
- IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- La Rosa, D. , Barbarossa, L., Privitera, R. and Martinico, F. (2014). Agriculture and the city: A method for sustainable planning of new form of agriculture in urban context. *Land Use Policy* 41, 290-303.
- Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J. G. and Domínguez, J.(2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 944-951.
- Lopez, R., Cabrera, F., Madejón, E., Sancho, F. and Álvarez, J. M. (2008). Urban compost as an alternative for peat in forestry nursery growing media. *Global Science Books*, 60-66.
- MAPAMA. (2016). *Caracterización del sector de la producción ecológica española en términos de mercado, referida al año 2015*. Madrid: Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA. (2016a). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2015*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA. (16 de 01 de 2018). *Página web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Recuperado el 10 de 04 de 2018, de Página web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
- <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/sustratos-cultivo/>

- Márquez Hernández, C., Cano Ríos, P., Figueroa Viramontes, U., Avila Diaz, J. A., Rodríguez Dimas, N. and García Hernandez, J. L. (2013). Yield and quality of tomato with organic sources of fertilization under greenhouse conditions. *International Journal of Experimental Botany*, 55-61.
- Martínez Blanco, J., Muñoz, P., Antón, A. and Rieradevall, J. (2010). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production*, 985-997.
- Marull, J., Pinochet, J. and Rodríguez Kábana, R. (1997). Agricultural and municipal compost residues for control of root-knot nematodes in tomato and pepper. *Compost Science et Utilization*, 6-15.
- Murray, H. and Pinchin, T. A. (2011). Compost application affects metal uptake in plants grown in urban garden soils and potential human health risk. *Journal Soils Sediments*, 815-829.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. and Sreekanth, T.V.M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 199-216.
- Oliveira, A. B., Moura, C. F. H., Gomes Filho, E., Marco, C. A., Urban, L. and Miranda, M. R. A. (2013). The impact of organic farming on Quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *plos one*.
- Poulsen, M. N., McNab, P. R., Clayton, M. L. and Neff, R. A. (2015). A systemic review of urban agriculture and food security impacts in low-income countries. *Food Policy*, 131-146.
- Real Decreto 506, 2. d. (10 de julio de 2013). Boletín Oficial del Estado. Madrid, España.
- Sanyé Mengual, E., Cerón Palma, I., Oliver Sola, J., Montero, J. I. and Rieradevall, J. (2012). Environmental analysis of the logistics of agricultural products from roof top greenhouse in Mediterranean urban areas. *Journal Science Food Agriculture*.
- Säumel, I., Kotsyuk, I., Hölscher, M., Lenkerei, C., Weber, F. and Kowrik, I. (2012). How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution*, 124-132.
- Shalhevet, J. and Yaron, B. (1973). Effect of soil and water salinity on tomato growth. *Plant and soil*, 285-292.
- SIGPAC, S. d. (02 de 03 de 2018). Mapa Parcelas Agrarias Universidad Pública de Navarra. Pamplona, Navarra, España.
- Tixier, P. (2006). Urban Horticulture. *RUAF publication*, 460.

Anexo I: Diseño experimental

