



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
AGRÍCOLA Y FORESTAL SUSTENTABLE**

PROYECTO TERMINAL

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE PELLETS BASADOS EN
MATERIA ORGÁNICA PARA LA LIBERACIÓN DE FÓSFORO Y SU
APROVECHAMIENTO EN LA AGRICULTURA**

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

L. B. Patricia Milo Anzures

Director (a)

Dra. Eliazar Aquino Torres

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., febrero de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
AGRÍCOLA Y FORESTAL SUSTENTABLE**

PROYECTO TERMINAL

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE PELLETS BASADOS EN
MATERIA ORGÁNICA PARA LA LIBERACIÓN DE FÓSFORO Y SU
APROVECHAMIENTO EN LA AGRICULTURA**

Para obtener el grado de
Maestra en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

PRESENTA

L. B. Patricia Milo Anzures

Director (a)

Dra. Eliazar Aquino Torres

Asesores

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Margarita Islas Pelcastre

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, febrero de 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable
Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

ICAP-MCTAFS/003/2023

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por este conducto se le comunica que el Comité Revisor asignado a la alumna **Patricia Milo Anzures**, de la Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable, con número de cuenta **No. Q03108**, que presenta el manuscrito de tesis titulado **"Obtención y evaluación de pellets basados en materia orgánica para la liberación de fósforo y su aprovechamiento en la agricultura"**, ha autorizado la impresión del mismo.

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE

"Amor, Orden y Progreso"

Tulancingo de Bravo, Hgo. a 08 de febrero del 2023.

Dra. Eliazar Aquino Torres
Coordinadora de la Maestría en
Ciencias y Tecnología Agrícola y
Forestal Sustentable

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Environmental Studies

Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Master's in Sciences and Technology of Agriculture and Forestry

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola y Forestal Sustentable

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Obtención y evaluación de pellets basados en materia orgánica para la liberación de fósforo y su aprovechamiento en la agricultura", que desarrolla el estudiante Patricia Milo Anzures.

Asistentes:

Dra. Eliazar Aquino Torres

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Margarita Islas Pelcastre

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por Patricia Milo Anzures, comunicando a la estudiante, realizó oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 08 de febrero del 2023.

Dra. Eliazar Aquino Torres

Dr. Alfredo Madariaga Navarrete

Dra. Margarita Islas Pelcastre

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2430
maestria_agricola_forestal@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por guiarme en este camino y porque de su mano nunca me he dejado caer. Esta tesis está dedicada a mi familia, mis hijos Karla Sofía y Hugo Emilio, quienes son mis pilares de vida ¡los amo!

El agradecimiento más especial es para mis padres Nicolás y Patricia, que sin su apoyo indudablemente este proyecto nunca hubiese podido llevarse a cabo, gracias por sus enseñanzas, sus reflexiones y porque a pesar de todo lo vivido nunca me han soltado de su mano y les estaré eternamente agradecida.

Gracias a mi hermana Tania, quien siempre me ha apoyado y de alguna manera contribuyo y en el desarrollo de este proyecto.

Quiero agradecer de manera especial a mi directora la Dra. Eliazar Aquino Torres, por las aportaciones a este trabajo, por ayudarme a enriquecerlo con sus observaciones y comentarios.

Gracias a los doctores que conformaron mi comité, el Dr. Alfredo Madariaga Navarrete, la Dra. Margarita Islas Pelcastre y el Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos, por sus observaciones para mejorar este trabajo y en particular al Dr. Sergio por el apoyo recibido en el invernadero durante el desarrollo del cultivo.

Igualmente agradezco al Dr. Sergio Soto por la ayuda desinteresada en el manejo de la peletizadora desde el inicio y hasta el final de su uso.

Le doy las gracias a mis compañeros de laboratorio y de maestría, quienes contribuyeron con un poco o mucho para la realización de este proyecto, a mi amiga y confidente Alejandra Yolotzin, por compartir momentos inolvidables a su lado, a Alexandra por los ratos que la hice sufrir en el invernadero junto con Manuel, a él por la ayuda incondicional siempre y a Monserrath por todo lo vivido y por el apoyo en cada momento que lo necesité.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado durante el desarrollo de la maestría con la beca No. 01NACF-06678.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este trabajo.

INDICE

I.	ÍNDICE DE FIGURAS	iii
II.	ÍNDICE DE TABLAS	iv
III.	INDICE DE GRAFICOS	iv
IV.	RESUMEN.....	vi
V.	ABSTRACT	vii
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3.	ANTECEDENTES	5
3.1	Uso de fertilizantes comerciales en la agricultura.....	5
3.2	El fósforo: nutriente esencial para las plantas	6
3.3	Residuos de Materia Orgánica y sus usos en la agricultura	8
3.4	Materia orgánica como medida de atenuación ante el uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos.....	9
3.5	Materia orgánica: Desechos de origen avícola (Pollinaza)	10
3.6	Los pellets	12
3.7	La peletización organomineral: alternativa sustentable al uso de fertilizantes.....	14
3.8	La máquina peletizadora.....	17
3.9	El cultivo de jitomate: (<i>Solanum lycopersicum</i>)	18
3.9.1	Fisiología del cultivo.....	19
3.9.2	Nutrición de las plantas.....	20
4.	JUSTIFICACIÓN	22
5.	OBJETIVOS	24
5.1	Objetivo General	24
5.2	Objetivos específicos	24
6.	HIPÓTESIS	25
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
7.1	Obtención de la materia orgánica	26
7.2	Proceso de peletización de la materia orgánica-fertilizante.....	26
7.2.1	<i>Contenido de humedad</i>	26
7.2.2	<i>Peletización</i>	27
7.3	Caracterización fisicoquímica de pellets orgánicos y organominerales	28
7.3.1	<i>Determinación de pH y conductividad eléctrica (dS/m)</i>	28

7.3.2	<i>Capacidad de retención de Humedad</i>	29
7.3.3	<i>Índice de durabilidad</i>	29
7.3.4	<i>Índice de dureza</i>	30
7.3.5	<i>Determinación de macro y micronutrientes de los pellets organominerales</i>	31
7.3.6	<i>Cinética de liberación de fósforo en los pellets organominerales</i>	31
7.3.7	<i>Análisis colorimétrico del Ácido vanadomolibdofosfórico para la determinación de fósforo</i>	32
7.4	Diseño Experimental y Análisis estadístico	34
7.5	Cultivo de jitomate para evaluación de los pellets organominerales.....	35
7.5.1	<i>Germinación y establecimiento del cultivo</i>	36
7.5.2	<i>Desarrollo vegetativo</i>	36
7.5.3	<i>Poda y tutorado</i>	37
7.5.4	<i>Análisis de contenido de nutrientes en tejido vegetal</i>	37
7.5.5	<i>Cosecha</i>	37
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
8.1	Obtención de la Materia Orgánica	38
8.2	Proceso de peletización de la materia orgánica-fertilizante.....	38
8.2.1	<i>Contenido de humedad</i>	38
8.2.2	<i>Peletización</i>	39
8.3	Caracterización fisicoquímica de pellets organominerales.....	40
8.3.1	<i>Determinación de pH y conductividad eléctrica (dS/m)</i>	40
8.3.2	<i>Capacidad de retención de humedad</i>	42
8.3.3	<i>Índice de durabilidad</i>	44
8.3.4	<i>Índice de dureza</i>	47
8.3.5	<i>Determinación de N-P-K en pellets organominerales</i>	49
8.3.6	<i>Cinética de liberación de fósforo en los pellets organominerales</i>	52
8.3.7	<i>Análisis colorimétrico del Ácido vanadomolibdofosfórico para la determinación de fósforo</i>	52
8.4	Relación fósforo liberado contra pH.....	58
8.5	Cultivo de jitomate para evaluación de los pellets organominerales.....	60
8.5.1	<i>Germinación y establecimiento del cultivo</i>	60
8.5.2	<i>Desarrollo vegetativo</i>	61
8.5.3	<i>Poda y tutorado</i>	67
8.5.4	<i>Análisis de contenido de nutrientes en tejido vegetal</i>	68

8.5.5	Cosecha	70
9.	CONCLUSIONES.....	76
10.	REFERENCIAS	78
11.	ANEXOS.....	87
11.1	Curvas de calibración realizadas para la medición de las absorbancias de fósforo en todos los tratamientos.	87
11.2	Esquema de las partes de una maquina peletizadora de matriz plana (Garzón y Mendes, 2021).....	88
11.3	Participación en Congreso.	89

I. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Pellets de rastrojo de maíz combinado con <i>Pinus radiata</i> (Fernández-Puratich, et al., 2017).	13
Figura 2.	Esquema del proceso de peletización. (Fuente: elaboración propia).	13
Figura 3.	Peletizadora de matriz plana. a) Matriz con rodillos (Fuente: Garzón y Mendes, 2021), b) Esquema de la matriz (Fuente: Flórez et al., 2010).....	17
Figura 4.	Etapas fenológicas del cultivo de jitomate. (Fuente: Intagri, 2020).....	20
Figura 5.	Muestras de pollinaza para determinación de humedad.	27
Figura 6.	Maquina peletizadora de matriz plana utilizada en este estudio.	28
Figura 7.	Texturómetro utilizado para prueba de dureza en pellets.	31
Figura 8.	Cinética de liberación de fósforo de los pellets obtenidos. a) Obtención de lixiviados para análisis, b) Preparación de muestras de los lixiviados.	32
Figura 9.	Espectrofotómetro utilizado para lectura de muestras (lixiviados).	34
Figura 10.	Tutorado de las plantas de jitomate con arillos de plástico.	37
Figura 11.	Pellets organominerales elaborados de acuerdo a los tratamientos: a) P50R50, b) P60R40, c) P70R30 y d) P100R0.	39
Figura 12.	Espectro de los pellets P50R50 obtenido por MEB-EDS.....	50
Figura 13.	Espectro de los pellets P60R40 obtenido por MEB-EDS.....	51
Figura 14.	Espectro de los pellets P70R30 obtenido por MEB-EDS.....	51
Figura 15.	Espectro de los pellets P100R0 obtenido por MEB-EDS.....	52
Figura 16.	Muestras obtenidas a partir de la lixiviación adicionando agua a los pellets obtenidos. a) Lixiviados obtenidos cada 24 h, b) Muestras preparadas mediante el método colorimétrico.	53
Figura 17.	a) Plántula de jitomate y b) establecimiento del cultivo en macetas.	61
Figura 18.	Plantas de jitomate evaluadas con el tratamiento P70R30 con los 3 porcentajes de pellets y sus respectivos controles.	66
Figura 19.	Plantas de jitomate evaluadas con el tratamiento P100R0 con los 3 porcentajes de pellets y sus respectivos controles.	67
Figura 20.	a) Tutorado en plantas de jitomate utilizadas, b) Colocación de anillo para soporte de la planta.....	68
Figura 21.	Frutos obtenidos para el tratamiento P70R30.	74

Figura 22. Frutos obtenidos para el tratamiento P100R0.	75
---	----

II. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la pollinaza.	11
Tabla 2. Contenidos en porcentaje de humedad, N, P, K de la pollinaza.	12
Tabla 3. Porcentajes de la composición de los pellets elaborados.	28
Tabla 4. Diseño experimental utilizado para los tratamientos.	35
Tabla 5. Diseño experimental de tratamientos de fertilización para el cultivo de jitomate.	36
Tabla 6. Porcentaje de humedad agregado a las mezclas de pollinaza: MAP para la obtención de los pellets organominerales.	39
Tabla 7. Análisis de medias para pH y conductividad eléctrica, de todos los tratamientos.	40
Tabla 8. CRH para cada tratamiento de pellets, con comparación de medias de Tukey.	43
Tabla 9. Medias obtenidas para el índice de durabilidad en todos los tratamientos.	45
Tabla 10. Comparación de medias para la dureza de pellets obtenidos.	47
Tabla 11. Contenido de macronutrientes en todos los tratamientos.	49
Tabla 12. Cantidad de fósforo total y por cinética de liberación contenida en los diferentes tipos de pellets organominerales.	54
Tabla 13. Análisis de medias de Tukey para la liberación de fósforo total transcurridos los 10 días de estudio, en cada uno de los tratamientos.	56
Tabla 14. Niveles de pH obtenidos en los distintos tratamientos, durante los 10 días de estudio. ..	58
Tabla 15. Comparación de medias para variables de crecimiento de plantas de jitomate fertilizadas con pellets organominerales.	62
Tabla 16. Contenido de nutrientes en las plantas de jitomate variedad Floradade, en la semana 10.	69
Tabla 17. Análisis de medias de Tukey para el rendimiento en fruto de jitomate.	70

III. INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Gráficas de intervalos de pH y CE de los pellets obtenidos. a) pH y b) CE, en cada uno de los tratamientos.	41
Gráfico 2. Dinámica del fósforo en el suelo con respecto al pH (Fuente: Sánchez, 2021).	42
Gráfico 3. Capacidad de Retención de Humedad de los pellets obtenidos. a) Comparaciones múltiples de Tukey, b) Intervalos de frecuencia para CRH, de cada uno de los tratamientos.	44
Gráfico 4. a) Comparaciones múltiples de Tukey, b) Intervalos de frecuencia para ID, de cada uno de los tratamientos.	46
Gráfico 5. Índice de dureza de los pellets obtenidos. a) Análisis de medias de Tukey y, b) Gráfica de intervalos para dureza de todos los tratamientos.	48
Gráfico 6. Fósforo total liberado para cada uno de los tratamientos.	54
Gráfico 7. Cinética de liberación de fósforo a lo largo de 10 días, en cada uno de los tratamientos.	55

Gráfico 8. Graficas de intervalos a) Fósforo liberado a lo largo de los días de estudio y b) Fósforo total liberado después de los 10 días de estudio.	57
Gráfico 9. Grafica de intervalos para pH en cada uno de los tratamientos, en el transcurso de los 10 días de estudio.	59
Gráfico 10. Gráfica de superficie para niveles de pH vs Fósforo liberado a lo largo de los 10 días de estudio, para cada uno de los tratamientos. a) P100R0, b) P50R50, c) P60R40 y d) P70R30.	60
Gráfico 11. Análisis factorial para cada variable respuesta analizada en el crecimiento de la planta. a) Altura de la planta, b) Grosor del tallo y c) Tamaño de la hoja.	64
Gráfico 12. Análisis factorial para rendimiento en fruto de jitomate, para los tratamientos. Pellets P70R30 al 15, 25 y 40% y P100R0 al 15, 25 y 40%, 0= control (-) y 1= control (+). a) Cantidad de frutos, b) Longitud, c) Diámetro y d) Peso.	73

IV. RESUMEN

La agricultura tradicional requiere de la adición de compuestos químicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K) que pueden generar efectos negativos en el suelo y al adicionar constantemente estos elementos puede llevar a reducir la absorción de nutrientes. En particular, el fósforo (P), es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues cumple importantes funciones bioquímicas y fisiológicas, sin embargo, sus deficiencias se traducen en efectos negativos y bajos rendimientos en los cultivos. A su vez, los residuos orgánicos son materiales de alto potencial para ser utilizados en la agricultura como fuente de nutrientes para las plantas y son una alternativa a la disminución del uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que utilizados en forma de pellet otorga ventajas, entre ellas mejorar la calidad de los suelos. En este trabajo de investigación, se obtuvieron 4 tipos de pellets basados en distintas proporciones pollinaza: MAP (P50R50, P60R40, P70R30 y P100R0), con porcentajes de humedad entre 7 y 26% para formarlos y los cuales se caracterizaron fisicoquímicamente para su evaluación como fertilizante de liberación lenta de fósforo en un cultivo de jitomate variedad Floradade en condiciones de invernadero. En las características físicas, durabilidad, dureza y capacidad de retención de humedad, P100R0 y P70R30 tuvieron los mejores resultados, sin embargo, para las características químicas P100R0 liberó la mayor cantidad de fósforo total, pero en la cinética de liberación de 10 días obtuvo los valores más bajos; P70R30 obtuvo los valores más altos de fósforo al inicio y al final del estudio, siendo el tratamiento que mayor cantidad liberó. La relación pH- liberación de fósforo, tuvo mayor éxito en P70R30, pues el pH en estos fue de 5.32, idóneo para la liberación lenta de este nutriente y P100R0 mostró nivel de pH 8.12, dificultando su liberación. Se aplicaron los pellets P70R30 y P100R0 en porcentajes 15%, 25% y 40% en un cultivo de jitomate, cultivados durante 14 semanas, teniendo los mayores crecimientos y rendimientos aquellas plantas fertilizadas con pellets P70R30 en 15% y 25%. El análisis de nutrientes en savia sugiere agregar al menos 2 dosis de pellets organominerales durante las etapas de desarrollo del cultivo, para garantizar el contenido de nutrientes. Es así como concluimos que los pellets organominerales son una alternativa para la sustitución de fertilizantes químicos en cultivos que tienen altas demandas de macro y micronutrientes, teniendo mayor potencial aquellos que son complementados con materia inorgánica.

V. ABSTRACT

Traditional agriculture requires the addition of chemical compounds rich in nitrogen, phosphorus and potassium (N-P-K) that can generate negative effects on the soil and constantly adding these elements can lead to reduced nutrient absorption. In particular, phosphorus (P) is an essential macronutrient for the growth and development of plants, since it fulfills important biochemical and physiological functions; however, its deficiencies translate into negative effects and low yields in crops. In turn, organic residues are materials with high potential to be used in agriculture as a source of nutrients for plants and are an alternative to reducing the indiscriminate use of chemical fertilizers, which when used in pellet form provide advantages, including improve soil quality. In this research work, 4 types of pellets were obtained based on different proportions of poultry manure: MAP (P50R50, P60R40, P70R30 and P100R0), with moisture percentages between 7 and 26% to form them and which were physicochemically characterized for their evaluation as Slow release phosphorus fertilizer in a Floradade variety tomato crop under greenhouse conditions. In the physical characteristics, durability, hardness and moisture retention capacity, P100R0 and P70R30 had the best results, however, for the chemical characteristics P100R0 released the highest amount of total phosphorus, but in the release kinetics of 10 days it obtained the lowest. lower values; P70R30 obtained the highest phosphorus values at the beginning and at the end of the study, being the treatment that released the highest amount. The pH-phosphorus release relationship was more successful in P70R30, since the pH in these was 5.32, ideal for the slow release of this nutrient, and P100R0 showed a pH level of 8.12, making its release difficult. P70R30 and P100R0 pellets were applied in 15%, 25% and 40% percentages in a tomato crop, cultivated for 14 weeks, having the highest growth and yields those plants fertilized with P70R30 pellets in 15% and 25%. The analysis of nutrients in sap suggests adding at least 2 doses of organomineral pellets during the development stages of the crop, to guarantee the nutrient content. This is how we conclude that organomineral pellets are an alternative to replace chemical fertilizers in crops that have high macro and micronutrient demands, with greater potential for those supplemented with inorganic matter.

Palabras clave: Fósforo, pellets, organominerales, material orgánica, fertilizante, liberación lenta.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura tradicional requiere de la adición de compuestos químicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K) que pueden generar efectos negativos en el suelo e incrementar los gases efecto invernadero (Mehdizadeh et al., 2019). Adicionar constantemente algunos elementos como N o P, puede llevar a reducir la absorción de nutrientes, disminuir la descomposición de la materia orgánica, modificar la concentración de los cationes intercambiables, alterar la microbiota del suelo y reducir la actividad metabólica de las plantas (Demiraj et al., 2018); del mismo modo, las formas NO_3^- y NO_2^- contaminan las fuentes de agua por lixiviación lo que conduce a que las dosis de fertilizantes químicos o que se recomiendan en la agricultura se superen y esto pueda ocasionar problemas de toxicidad y desequilibrio de los organismos presentes en el suelo ocasionando una pérdida y degradación del mismo (Méndez y Chacón, 2009), esto en consecuencia, ha generado un uso excesivo de fertilizantes inorgánicos a nivel mundial (N-P-K).

En el caso particular del fósforo (P), es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas que cumple importantes funciones bioquímicas y fisiológicas, forma parte de biomoléculas como enzimas, ácidos nucleicos y proteínas que están involucrados en prácticamente todos los procesos de transferencia y almacenaje de energía como ATP y en el transporte y absorción de nutrientes. Desde el punto de vista agronómico, las deficiencias de fósforo se traducen en un menor desarrollo de área foliar que afecta negativamente la captura de energía solar y su rendimiento. Es importante recalcar, que algunos suelos presentan altas concentraciones de fósforo total, sin embargo, su nivel de disponibilidad se encuentra por debajo de los requerimientos de algunas especies vegetales lo que genera una limitación nutricional, que sumada a la acidez natural del suelo reduce el potencial productivo de algunos cultivos y, en consecuencia, la producción de especies que en la actualidad son importantes para el consumo humano. Por ello, en condiciones de deficiencia de fósforo, es imprescindible llevar a cabo aplicaciones de fertilizantes fosfatados (Vistoso Gacitua, 2016).

En este contexto, los residuos agrícolas y pecuarios son materiales renovables de alto potencial para ser utilizados en la agricultura como fuente de nutrientes para las plantas, son

económicos, de fácil y mayor acceso para los agricultores y permiten tener buenos rendimientos en algunos cultivos. Estos materiales permiten el reciclado de nutrientes a partir de fuentes de materia orgánica, ejemplo de ello es el compostaje y el uso de estiércol de origen animal (Ramos y Terry, 2014). La materia orgánica del suelo funciona como fuente de carbono y nitrógeno para los microorganismos, los cuales lo convierten en biomasa microbiana, proporcionando estabilidad química y biológica al suelo (Mangalassery et al., 2019). Por lo tanto, como alternativa a la disminución de los posibles efectos negativos que se derivan del uso indiscriminado de fertilizantes químicos, se considera que la adición de fertilizantes de origen orgánico al suelo sean una excelente alternativa, pues estos incrementan, optimizan y regeneran su estructura (Boafo et al., 2020). Los abonos orgánicos mejoran los procesos de infiltración y capacidad de retención del agua, promueven la actividad microbiana y controlan el pH, por lo que son considerados una fuente importante de nutrientes para las plantas y el suelo. Sin embargo, es necesario revisar su origen para evitar la adición de patógenos y elementos potencialmente tóxicos (Araya et al., 2014).

En los últimos 20 años, el mercado de la biomasa ha aumentado constantemente; se han estudiado diferentes mezclas de materia orgánica proveniente de residuos de cosechas en forma de composta y lombricomposta, algunas de origen pecuario como el estiércol vacuno, ovino, porcino y de aves de postura y engorde, los cuales se ha demostrado, promueven la actividad microbiana y la estabilización de los suelos. En particular, la pollinaza y gallinaza (desechos de origen avícola) son fertilizantes valiosos que proporciona varios nutrientes a los cultivos (Bolan, et al., 2010), por lo tanto, puede contribuir al aumento de la materia orgánica que se encuentra contenida en suelos agrícolas (Heikkinen, et al., 2013). Existen estudios sobre la incorporación de la pollinaza como abono orgánico en diversos cultivos, en donde ha demostrado ser constituyente de buen fertilizante permitiendo elevar el rendimiento de los cultivos (Mendoza et al., 2003), además de ser una fuente importante de materia orgánica, así como de macro y micronutrientes indispensables para la producción agrícola, sin embargo, se debe tener un manejo adecuado de esta materia orgánica para evitar contaminaciones.

En este trabajo de investigación, se planteó la elaboración y producción de pellets a partir de pollinaza con la finalidad de tener un mejor manejo, aprovechar estos nutrientes y reducir costos de transporte y almacenamiento. Así, la pollinaza peletizada puede ser utilizada como

fuente fundamental de nutrientes, al tiempo que mejora el efecto de rendimiento y calidad de los cultivos.

Es importante resaltar, que en la actualidad la industria del pellet ha comenzado a buscar nuevos productos potencialmente importantes para ser utilizados, entre los que resaltan los desechos agrícolas y pecuarios, los cuales pueden ser utilizados potencialmente como pellets fertilizantes al tiempo que poseen grandes ventajas, entre las que podemos mencionar aquellas que favorecen la creación de humus y de esta manera mejorar la estructura del suelo, haciendo más sueltos los suelos arcillosos y compactando los arenosos, a su vez, aumenta la permeabilidad, la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico, contribuyendo a optimizar la flora bacteriana lo que beneficia a la microfauna y algunos distintos procesos de vida que se encuentran en el suelo y así se reduce el riesgo de enfermedades y plagas de los cultivos; es por lo antes mencionado que los pellets fertilizantes se han constituido como fertilizantes aptos e ideales para su uso en la Agricultura Ecológica (López-Mosquera et al., 2011).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La práctica agrícola actual requiere del uso de fertilizantes químicos que provocan problemas de contaminación ambiental; actualmente la tecnología agrícola ha producido grandes aumentos en el rendimiento de los cultivos, pero estos beneficios al mismo tiempo han tenido efectos colaterales como pérdida de fertilidad y degradación del suelo, además de eutrofización en cuerpos de agua, aumentos en los niveles de nitrato del suelo e incrementos de residuos tales como plaguicidas en agua, suelos y alimentos (Miralles, et al., 2012).

Entre los nutrientes minerales de mayor importancia en la agricultura nacional y mundial se encuentra el fósforo (P); la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas, entre ellas, los óxidos de Fe y Al que, tienen mucha afinidad para reaccionar con el fósforo, fenómeno que conduce a la fijación del mismo y en consecuencia, gran parte de la superficie agrícola mundial tiene un alto potencial de retención de fósforo, lo que limita su disponibilidad para los cultivos (Munera y Meza, 2012). Un suministro bajo de fósforo en la planta causa severos daños en el crecimiento vegetativo, expansión de las hojas, órganos reproductivos, iniciación floral, número de flores, formación de semillas y germinación de estas. Por lo que claramente se ha demostrado que constituye una de las principales limitantes para el crecimiento y productividad de cultivos anuales, pastos y demás tipo de plantaciones (Intagri, 2018).

Al mismo tiempo, grandes cantidades de residuos orgánicos producidos por la actividad agrícola y pecuaria se han convertido en contaminantes ambientales que van al alza y con consecuencias agroambientales futuras, debido a que aumentan los niveles de salinidad, la lixiviación de nitratos en el subsuelo y la concentración de fosfato en agua superficial. (Flotats y Sole, 2008). Por lo tanto, se ha considerado de gran importancia minimizar los riesgos causados por el acumulamiento de residuos orgánicos tales como el estiércol, dándoles un uso potencial que permita aprovechar al máximo los compuestos de los mismos y a su vez, reducir paulatinamente los efectos del uso de fertilizantes inorgánicos en los cultivos.

3. ANTECEDENTES

El aumento del nivel de vida en una sociedad desarrollada conlleva a un incremento en la producción de residuos que normalmente contaminan el medio ambiente; a su vez, la demanda en la producción de alimentos lleva al uso insostenible de fertilizantes inorgánicos que permiten un desarrollo rápido y eficiente de los cultivos, sin embargo, en estos tiempos de alta demanda alimenticia, se ha generado una lucha constante contra los procesos contaminantes que se derivan de dichas actividades, las cuales son caras de contrarrestar y en muchos casos no se justifican desde el punto de vista económico (López-Mosquera et al., 2011). Derivado de esto, se ha propuesto reciclar o reutilizar los residuos generados en actividades tanto agrícolas como pecuarias, con la finalidad de poder tener una nueva forma de producción al emplear los residuos como recursos y de esta manera entrar a una agricultura sustentable.

3.1 Uso de fertilizantes comerciales en la agricultura

La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con la finalidad de lograr un mayor rendimiento en los cultivos; dichos fertilizantes químicos han contribuido a mejorar los rendimientos en los cultivos provocando así un aumento en la producción de alimentos del mundo, pero la aplicación excesiva de estos ha generado efectos negativos en el suelo, el agua y el ambiente; ejemplo de ello es la eutrofización, la toxicidad del agua, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (Langhans et al., 2022). En particular, la contaminación del agua por el uso de los fertilizantes químicos se produce principalmente por lixiviación en aguas subterráneas y superficiales, pues la lixiviación de nitratos producto de algunas prácticas agrícolas facilita su infiltración en aguas subterráneas y superficiales afectando negativamente la salud humana por el consumo excesivo de nitratos. Las afectaciones en el suelo, ocurren con la variación del pH, el deterioro de la estructura del suelo y la microfauna presente en el mismo. Por último, el impacto negativo al aire se debe principalmente a las aplicaciones inadecuadas de dichos fertilizantes, lo cual genera contaminación en el ambiente (González, 2019).

Resulta difícil hoy en día, considerar la existencia de una agricultura de alto rendimiento que al mismo tiempo pueda excluir por completo las contribuciones de los fertilizantes

inorgánicos actuales. En distintos países, el consumo de fertilizantes inorgánicos ha experimentado un gran aumento desde los años cincuenta y sesenta del siglo XX y durante los años noventa se experimentaron niveles de consumo que se multiplican por 7 para el caso de fosfatos, por 12 para los potásicos y por 100 para aquellos nitrogenados (Riechmann, 2003). Por ello, es de vital importancia el prescindir o disminuir el uso de los fertilizantes químicos solubles, para contribuir a mantener la fertilidad del suelo y evitar que se inhiba la actividad de los microorganismos del mismo; caso contrario si se lleva a cabo una correcta fertilización basada en el uso de la materia orgánica que promueve el desarrollo del medio para dichos microorganismos, los cuales son fundamentales para que se lleve a cabo la liberación de los nutrientes que la planta necesita, descomponiendo la materia orgánica o solubilizando los elementos que se encuentran en forma mineral (Laurin et al., 2006).

3.2 El fósforo: nutriente esencial para las plantas

El fósforo (P), es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y se encuentra dentro de los 17 nutrientes de mayor importancia, además de ser clasificado como un nutriente primario, razón por la cual esta comúnmente deficiente en la producción agrícola y, por tanto, se requiere de una adecuada aplicación de este elemento para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima. Es importante mencionar que el proceso de absorción del fósforo en el suelo se lleva a cabo cuando el fósforo penetra en la planta por medio de las capas externas de las células en la raíz y los pelos radiculares; es absorbido por la planta como ion orto fosfato (H_2PO_4^-), pero también se absorbe como ion fosfato (HPO_4^{2-}), en esta última forma se incrementa a medida que sube el pH y una vez dentro de la raíz, el fósforo puede permanecer almacenado o ser transportado a las partes superiores de la planta; posteriormente es a través de distintas reacciones químicas que se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía (Múnera y Meza, 2012).

Es por lo anterior, que los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes, variando la concentración total de P en los cultivos entre un 0.1 a 0.5 %. La disponibilidad del fósforo es esencial para el crecimiento vegetal porque constituye más de 0.2% del peso seco de la planta; plantas que toman el fosfato a partir de la solución del suelo en forma inorgánica en estado soluble como fosfato mono y di básicos, siendo ideal tener un pH de 6.5 para que el

ion orto fosfato en el suelo sea aprovechable por las plantas, debido a que a ese pH las precipitaciones de fosfatos de aluminio y calcio disminuyen (Banerjee et al., 2010). De esta manera, las plantas al utilizar las reservas de fosfato que se encuentran presentes en los suelos, logran que se mejore el crecimiento y la producción, absorbiendo los fosfatos solubles y disminuyendo la aplicación de fertilizantes químicos que, pueden ser fijados por iones de Ca, Al o Fe volviéndolos insolubles e incrementando los costos de producción de las cosechas (Beltrán, 2013).

En este sentido, la transformación de P orgánico en sus formas inorgánicas H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} se da a través de procesos microbianos. Sin embargo, la fijación del fósforo se da cuando estas formas son absorbidas por los microorganismos, convirtiendo el fósforo en formas orgánicas y que no son aprovechables para las plantas; pero cabe aclarar que el fósforo que se fija en la biomasa microbiana se encontrara disponible más adelante a medida que los microorganismos mueran. Por lo tanto, es importante señalar que el mantenimiento de materia orgánica a niveles elevados en el suelo condiciona la disponibilidad de fósforo, pues la mineralización de esta materia orgánica al aumentar las poblaciones microbianas, permitirá aportar fósforo a la solución del suelo, siempre que existan niveles de temperatura entre 18 y 40°C (Hyland et al., 2005).

Como se mencionó anteriormente, el fósforo en el suelo ocurre por la meteorización de los minerales secundarios, los cuales dependen en gran medida del pH del suelo para formarse, además de las adiciones del mismo en distintas formas como fertilizantes, desechos agrícolas y residuos vegetales, entre otros (Mullins, 2009). Por ello, es importante mencionar que el pH determina la especie química dominante en la solución del suelo, a pH menor que 7.2 predomina H_2PO_4^- y a pH mayor a este valor, predomina HPO_4^{2-} (Gerke, 2015; Kruse et al., 2015). Cantidades de fósforo bajas se deben a las interacciones que experimenta el ion fosfato, llevando a cabo fenómenos de adsorción y formando óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Osorio, 2014) en suelos que son ácidos, dando lugar para posteriormente formar fosfatos de hierro y aluminio. Lo anterior ocurre, debido a que al reducir el pH e incrementar la acidez del suelo se rompen las estructuras de estos minerales y se libera hierro y aluminio formando posteriormente compuestos que son insolubles (Múnera y Meza, 2012). Para los suelos neutros o calcáreos, la fijación del fósforo está dominada por reacciones de precipitación, puede ser adsorbido en la superficie y es así como el fosfato puede precipitarse con calcio

generando fosfato di-cálcico que se encuentra disponible para las plantas pues tiene un buen nivel de solubilidad, sin embargo, también puede transformarse en formas un poco más estables, como el fosfato de octacálcico y la hidroxiapatita, pero que se encuentran menos disponibles para las plantas en pH alcalinos (Arai y Sparks, 2007).

En el caso de la rizosfera, los fenómenos que propician y mejoran la adquisición del fósforo en la rizosfera de la planta son las asociaciones con microorganismos, modificaciones de la morfología de la raíz, así como la liberación de ácidos orgánicos y enzimas, por lo que podemos decir que, en general, existen procesos que transforman el fósforo y ayudan a su movilización y difusión para garantizar su absorción por la raíz utilizando proteínas transportadoras (Turner et al., 2002).

3.3 Residuos de Materia Orgánica y sus usos en la agricultura

Las actuales prácticas agrícolas junto con el uso indiscriminado de fertilizantes químicos son una de las principales causas de los problemas ambientales, a pesar de que las nuevas tecnologías han producido grandes aumentos en el rendimiento de los cultivos, también han tenido efectos colaterales provocando un empobrecimiento de las características biológicas del suelo y en consecuencia ha llevado a la pérdida de miles de hectáreas de tierra fértil, degradación del suelo y aumentos de patógenos que son cada vez más virulentos (Cruse, 2012). Además, grandes cantidades de residuos orgánicos son producidos por las actividades agrícolas y se han convertido en contaminantes ambientales, ya que aumentan los niveles de salinidad, las tasas de lixiviación de nitratos en el subsuelo drenando el agua, así como la concentración de fosfatos en aguas superficiales (Flotats y Sole, 2008).

En consecuencia, el uso de residuos orgánicos se ha vuelto cada vez más importantes como una forma eficiente de reciclar nutrientes y lograr estimular el crecimiento de las plantas, permitiendo incorporar nutrientes a suelos degradados (Cerrato et al., 2007). El compostaje es un manejo de los residuos orgánicos para obtener un producto más rentable económicamente que permita mejorar la fertilidad del suelo. Los factores involucrados en el proceso de compostaje, tales como aireación, relación C / N inicial y contenido de humedad, influyen en la conservación de los nutrientes, lo que les da el potencial como fertilizante orgánico y valor agronómico. La actual aplicación de la materia orgánica como fertilizante a los suelos en la agricultura es una práctica importante para aumentar el rendimiento de los

cultivos y permitir mejorar atributos físicos, químicos y biológicos del suelo (Soto y Meléndez, 2003). En la actualidad, la búsqueda de fertilizantes alternativos para incrementar la productividad de los cultivos con un menor impacto en el suelo, es un tema de investigación novedoso en el campo de la agroecología, que ha motivado a recurrir al uso de abonos orgánicos como el humus de lombriz, estiércoles de especies ovinas, vacunas, avícolas, entre otros, en diversos cultivos, lo anterior permite que se reduzcan costos en la producción de los fertilizantes inorgánicos en todo el mundo, pues cada vez es mayor el costo de los mismos en el mercado y de igual manera así se reduce la contaminación en los diferentes tipos de suelos y las aguas por el uso indiscriminado del mismo (Abreu, et al., 2018).

3.4 Materia orgánica como medida de atenuación ante el uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos

La aplicación de fertilizantes orgánicos posee distintas ventajas, debido a que se pueden mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo con un menor impacto sobre el ambiente. El suministro de productos orgánicos a los cultivos alcanza cada vez mayor importancia desde el punto de vista económico y ecológico, no obstante, debe considerarse que los mismos actúan como estimulantes y/o modificadores del crecimiento de las plantas (Cruz-Crespo et al., 2014). La aplicación de estiércoles, en especial aquel derivado de las granjas avícolas como fertilizante orgánico para los cultivos es una práctica idónea para una agricultura sostenible, ya que se aprovecha su contenido en nutrientes disponibles y al mismo tiempo, el aporte de su materia orgánica supone una mejora para el suelo cultivado, siempre y cuando se controlen las dosis aplicadas de estos estiércoles para así obtener mejores rendimientos y calidad en los cultivos, al tiempo que sean amigables con el medio ambiente y no afecten al mismo. La aplicación de los desechos de origen avícola, llamados comúnmente gallinaza aquellos derivados de gallinas de postura y pollinaza los que se obtienen de aves de engorde, como fertilizante a los cultivos ha sido estudiada en los últimos años debido a la cantidad de nutrientes que aportan, sin embargo, su composición y características dependerá en gran medida de la edad, la dieta y la salud de las aves, lo cual derivará en el éxito de las prácticas de gestión agrícola. Habiendo mencionado lo anterior,

podemos afirmar que la aplicación de este tipo de residuos con fines agrícolas puede resolver los problemas que supone el incremento progresivo que genera su producción y al mismo tiempo conseguir reducir los impactos ambientales futuros (López-Mosquera et al., 2011).

3.5 Materia orgánica: Desechos de origen avícola (Pollinaza)

La aplicación de estiércoles de granjas avícolas como fertilizante orgánico para los cultivos es una práctica idónea para una agricultura sustentable, pues es aprovechado el contenido de nutrientes disponibles y la materia orgánica que aporta sugiere que haya mejorías en los suelos cultivados. La pollinaza, obtenida de aves de engorda, se compone de una mezcla de excrementos y de un material absorbente que puede ser viruta, pasto seco y/o cascarillas, lo que conocemos comúnmente con el nombre de cama, mezcla que permanece en el depósito durante todo el ciclo productivo. La gallinaza, obtenida de aves de postura, resulta de los excrementos, plumas, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan. Este tipo de gallinaza tiene un alto contenido de humedad, es así, que tanto la pollinaza como la gallinaza son ricas en nutrientes como fósforo y potasio y altos niveles de nitrógeno (Abaigar et al., 2010).

En particular, el uso de la pollinaza ha sido estudiado en los últimos años, con proyectos en cultivos de maíz y sorgo forrajero en ensayos de invernadero, entre otros. En particular, la aplicación de la pollinaza procedente de la avicultura, como fertilizante a los cultivos constituye una buena práctica de reciclado y reutilización de estos residuos, sin embargo, se debe contemplar un plan de manejo adecuado para estos desechos y a su vez en vez de generar contaminación ambiental, se conviertan en una fuente de ingresos, que permita encontrar alternativas que mejoren el uso y manejo de la pollinaza y al mismo tiempo sean económicas (Estrada, 2005). La composición química de la pollinaza depende de las diferentes prácticas de producción avícola y es fundamental para una gestión eficiente y ambientalmente responsable saber que la cantidad y características de la pollinaza dependen de distintos factores, entre los que se encuentran la edad, la dieta y la salud de las aves, como se muestra en la Tabla 1, que comparado con los abonos orgánicos derivados de estiércoles de bovino, caprino y gallinaza que contienen 1.8, 2.0 y 2.8 % de nitrógeno; 0.14, 0.14 y 0.90 % de fósforo y 2.5, 2.4 y 5.2 % de potasio, respectivamente (López et al., 2001), supera la cantidad de nutrientes en todos los anteriores.

Tabla 1. Características de la pollinaza.

Parámetro	Pollinaza
pH	7.6
% Humedad	65.4
% N total	2.88
% C orgánico	3.38
% P	2.02
% K	1.55
% Ca	4.49
% S	1.19
% Materia orgánica	71.72

(Fuentes: Miralles et al., 2012; De Battista y Arias, 2016)

Al utilizar la pollinaza como fertilizante, debe considerarse que la composición de la misma cambia de acuerdo al momento de recolección y al tipo de almacenamiento, como se observa en la Tabla 2. Es necesario someter la pollinaza a un proceso de secado, al deshidratar se produce un proceso de fermentación aerobia que genera nitrógeno orgánico y esto permite facilitar su manejo. Cabe resaltar que la pollinaza seca posee una mayor concentración de macro y micronutrientes, respecto a la pollinaza fresca, dependiendo del tiempo y rapidez del secado. Las diferentes características tanto físicas como químicas de las excretas de las aves, permiten su uso como abono o como alimento para animales, siempre y cuando sea transformada o procesada de manera adecuada para garantizar su calidad (Estrada Pareja, 2005; Munguía-Xochihua, J. et al., 2019).

Tabla 2. Contenidos en porcentaje de humedad, N, P, K de la pollinaza.

Tipo	Humedad	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	%	%	%	%
Pollinaza fresca	70 – 80	1.1 – 1.6	0.9 – 1.4	0.4 – 0.6
Acumulada durante 6 meses	50 – 60	1.4 – 2.1	1.1 – 1.7	0.7 – 1
Almacenada en foso profundo	12 – 25	2.5 – 3.5	2 – 3	1.4 – 2
Desecada industrialmente	7 – 15	3.6 – 5.5	3.1 – 4.5	1.5 – 2.4

(Fuente: Estrada Pareja, 2005).

Actualmente, la industria avícola mexicana genera grandes cantidades de pollinaza, en su mayoría ocupada como fertilizante y alimento para el ganado, sin embargo, el manejo inadecuado de esta en las granjas se ve reflejado en un incremento considerable en la formación de amoníaco, generando cambios de pH y elevando la formación de microorganismos patógenos que generan enfermedades infectocontagiosas, lo que reduce la productividad en las empresas y los programas sanitarios establecidos reducen su efectividad (Antillón et al., 2011).

3.6 Los pellets

La peletización, es una tecnología para obtener materiales comprimidos a partir de materiales muy variados: madera, aserrín, virutas, polvo, corteza, paja, papel y prácticamente cualquier tipo de biomasa residual agrícola, forestal, industrial o ganadera, lo que proporciona una elevada versatilidad (López-Verdugo, 2019), hasta el desecho deshidratado de los animales, en este último caso utilizado como fertilizantes, como alimento para los animales o como combustible de grandes calderas para granjas. Los pellets obtenidos son pequeños cilindros de material comprimido, como se puede observar en la Figura 1. Este tipo de pellets de materia orgánica tienen una fácil manejabilidad y gran capacidad de durabilidad, lo que hace que no se deterioren con el tiempo y al momento de manejarlos y transportarlos.



Figura 1. Pellets de rastrojo de maíz combinado con *Pinus radiata* (Fernández-Puratich et al., 2017).

La fabricación de los pellets se lleva a cabo mediante distintas etapas (Figura 2), que incluyen: secado, granulado, compactado, enfriado, tamizado y empaquetado (Ríos-Badran, 2017). Después de estos procesos el producto terminado presenta una densidad promedio superior a la de la biomasa seca en estado natural, que facilita su transporte. Un aspecto fundamental, en la elaboración de pellets, es la humedad, la cual afecta el rendimiento del pellet, por lo que es indispensable determinar la cantidad de humedad óptima para la producción de los pellets, que depende del origen de la materia orgánica que se peletice (CARTIF, 2006, citado en López-Verdugo, 2019).

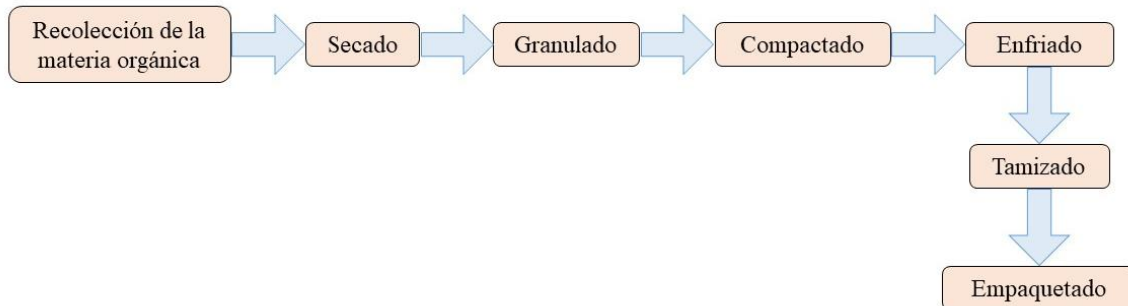


Figura 2. Esquema del proceso de peletización. (Fuente: elaboración propia).

Un problema común en los pellets, es el endurecimiento de los mismos que causan pérdidas en el transporte, en el almacenamiento y al momento de aplicarlos como fertilizante, y depende de la composición química del pellet, la resistencia a la rotura y las condiciones de almacenamiento (tiempo, temperatura y presión); por lo que las características físicas son

factores importantes a considerar en la elaboración, una baja resistencia a la rotura de pellets de estiércol, es una propiedad que se puede mejorar, ya que la materia orgánica tiende a desintegrarse notablemente dificultando su comercialización y aplicación de estos productos. Para minimizar estos problemas, existen materiales aditivos que se pueden utilizar en las formulaciones de fertilizantes orgánicos y así aumentar su resistencia y reducir su rotura y/o aglomeración. Estudios previos, revelan que el uso de materiales aditivos como celulosa, almidón, bentonita, arcillas, óxido de calcio, óxido de magnesio, hidróxido de calcio, caolinita, entre otros, aumentan la resistencia a la compresión de varios tipos de fertilizantes de materia orgánica. Entonces, el efecto positivo en la mejora de la dureza de los pellets orgánicos y organominerales, dependerá del aditivo y la concentración en la que se utilice (Nascimento et al., 2020).

3.7 La peletización organomineral: alternativa sustentable al uso de fertilizantes

La tecnología de la peletización es una de las mejores alternativas de compactación para el aprovechamiento energético de la biomasa de origen vegetal y ganadera, así como una forma de reducir el volumen de los residuos generados por dichas actividades, ya que el astillado o trituración, según sea el caso, no es suficiente para que su almacenamiento alcance costos aceptables. Esta tecnología posee diversas ventajas, sin embargo, entre las de mayor importancia, radica la de disminuir los costos de transporte de esta biomasa.

La peletización es una tecnología que consiste en la compactación mediante la aplicación de presión sobre una matriz perforada, que puede ser cilíndrica o plana, en la que se pasa el material a través de dicha matriz y toma la forma de los orificios por los cuales pasa. Los pellets que se hacen saldrán con una forma cilíndrica y tendrán medidas aproximadas entre 5 y 19 mm de diámetro y con longitud entre 20 a 50 mm; así los pellets de materia orgánica presentan una fácil manejabilidad y una alta durabilidad, por lo que no se deterioran en su manejo, debido a su alto grado de compactación y a su bajo contenido en humedad. Es así, que el éxito de este tipo de pellets, depende fundamentalmente de la aplicación y del tipo de sistema de aprovechamiento.

La tecnología de peletización está extensamente desarrollada y ha sido implementada en países europeos, sobre todo del Norte de Europa, mientras que en España su uso no está muy extendido hasta el momento (López-Verdugo, 2019). Estudios previos han demostrado la

efectividad del uso de desechos de origen avícola en pellets como fertilizantes, algunos de ellos complementados con fertilizantes minerales, que se ha demostrado potencia la liberación de nutrientes, a este tipo de pellets obtenidos se les denomina pellets organominerales.

Entre los estudios que se han reportado acerca de la peletización de estiércoles para su uso como fertilizantes, se encuentra Wang y colaboradores (2002), demostraron que aplicando pellets de gallinaza compostada a un cultivo de maíz dulce, obtuvieron el mayor rendimiento con la gallinaza frente a pellets de estiércol vacuno y porcino, aplicados también en pellets y a las mismas dosis, concluyendo que el pellet de gallinaza liberó mayor cantidad de nitrógeno que el vacuno y porcino (Miralles et al., 2012).

De manera similar, López-Mosquera y colaboradores (2011), aplicaron la tecnología de deshidratación y granulado del estiércol de pollo fresco como abonos orgánicos, el cual previamente fue secado y posteriormente granulado para ser empleado como sustrato en diferentes cultivos. Estos pellets orgánicos se aplicaron en lechuga y pimiento, así como plantas ornamentales, entre ellas el *Lilium*; para todos los cultivos, determinaron las dosis adecuadas de pellets. Particularmente, para el cultivo de pimiento, indicaron que este tipo de fertilización es suficiente con un aporte de 3 t/ha para obtener producciones comerciales de calidad y competitivas como las obtenidas a través de fertilización mineral convencional. El uso del estiércol deshidratado y granulado, no solo mejora las condiciones de aplicación y almacenamiento, sino que suministra nutrientes que compiten con los fertilizantes minerales, y al tratarse de un abono orgánico mejora la fertilidad física y biológica del suelo, contribuyendo a mantener la calidad. Por otro lado, Valdez y Granillo (2016), manifiestan que los tratamientos con la aplicación de pellets fertilizantes al 100% tuvieron mayor rendimiento en el crecimiento de la planta, en comparación con los tratados con fertilizantes inorgánicos; resultados parecidos a los reportados por Hernández y colaboradores (2017), que demuestran que al comparar distintos abonos orgánicos peletizados (bovino, gallinaza, rastrojo de maíz y aserrín), reportan al estiércol de gallina con una mayor eficiencia debido al aporte nutricional con un efecto constante sobre la concentración de nitratos (NO_3^-) y fósforo (P) en el suelo, en comparación con el estiércol de vaca.

En estudios más recientes, Nascimento y colaboradores (2020), evaluaron el efecto del uso de materiales aditivos en la liberación de nutrientes al suelo y la eficiencia agronómica de

fertilizantes organominerales en pellets, los cuales fueron producidos con diferentes materiales aglutinantes (bentonita, caolinita y óxido de magnesio), desarrollando experimentos tanto en macetas como en placas Petri para evaluar la difusión de fósforo en el suelo. Sus resultados indican que la adición de estos materiales a los fertilizantes organominerales no influyen en la dinámica de liberación de fósforo y su eficiencia agronómica, en comparación con el control sin aditivos. Así mismo, se observó que no existe pérdida en la liberación de nutrientes y en el caso particular del fósforo, los fertilizantes organominerales aumentaron significativamente la cantidad de captación de fósforo en comparación con el control sin fertilización.

Así mismo, Sarvi y colaboradores (2021) evaluaron el efecto de los pellets de materia orgánica, sola y en mezcla con materiales químicos y analizaron los efectos de la granulación y pirolizado del estiércol de pollos de engorde (pollinaza), adicionando harina de plumas en raigrás italiano (*Lolium multiflorum*, variedad Barmultra II) para evaluar la disponibilidad de fósforo y reportan que el estiércol de pollos de engorde granulado tuvo un rendimiento similar en cuanto a absorción de fósforo al fertilizante mineral superfosfato; seguido del tratamiento con adición de harina de plumas, mientras que la pirólisis redujo el efecto de fertilización del estiércol de pollos de engorde. El rendimiento reportado de raigrás fue del 120% al 75% durante la primera cosecha y del 100% al 45% durante la segunda cosecha para aquellas plantas fertilizadas con pellets de pollinaza y el estiércol granulado modificado con harina de plumas, respectivamente.

Estos reportes indican que el estiércol de aves granulado es adecuado como fertilizante de fósforo para cultivos anuales, con disponibilidad comparable al fertilizante mineral. Los procesos de secado y la granulación o peletización, son importantes en el desempeño como fertilizante, pues su aplicación directa al suelo sin un tratamiento previo puede presentar riesgos para el hombre, los animales y las plantas, que se asocia a los microorganismos patógenos presentes en estos residuos. En este sentido, algunos estudios han desarrollado estrategias para minimizar este problema, entre ellas la peletización.

La investigación de estos fertilizantes orgánicos producidos con diferentes tecnologías puede ayudar a la optimización de cantidades adecuadas en la fertilización, minimizando así la acumulación del fósforo en el suelo y sus efectos medio ambientales adversos.

3.8 La máquina peletizadora

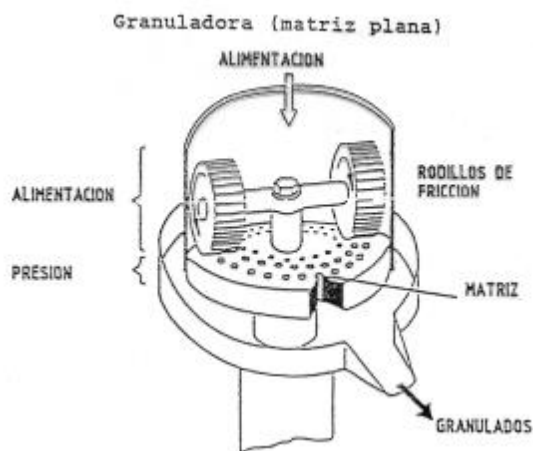
Las peletizadoras son máquinas que se utilizan para formar pequeñas porciones de distintas sustancias o materiales en procesos industriales, a estas porciones se les llaman comúnmente gránulos o pellets. Dichas maquinas se utilizan actualmente en diferentes procesos industriales, entre ellos, fabricación de alimentos para distintos animales, producción de medicamentos en granulo o cápsula, elaboración de fertilizantes, obtención de productos pecuarios como pollo en polvo, algunos saborizantes y también para ser utilizados a partir de madera o paja como biocombustibles en forma de pellets (Cosmos, 2018). Existen distintos tipos de peletizadoras, entre las comerciales y económicas se encuentran las peletizadoras de matriz plana y anular.

La peletizadora de matriz plana, es parecida a las máquinas de pellets pequeñas y están diseñadas a partir de un par de rodillos de prensa, una matriz plana, el alimentador y los engranajes de transporte; al mismo tiempo que se encuentran equipadas con un motor eléctrico o un generador a base de diésel (Anexo 2). El principio básico del funcionamiento de este tipo de peletizadora consiste en forman los pellets a partir de la materia orgánica que se agrega, creando una presión elevada entre la matriz plana y los rodillos (Figura 3a).

Las peletizadoras de matriz anular están diseñadas a partir de una matriz de anillo, componente más importante de estas máquinas y el eje principal es una línea de peletizado de la biomasa (Garzón y Mendes, 2021).



a)



b)

Figura 3. Peletizadora de matriz plana. a) Matriz con rodillos (Fuente: Garzón y Mendes, 2021), b) Esquema de la matriz (Fuente: Flórez et al., 2010).

Existen diferencias en costos entre ambas matrices, las peletizadoras más económicas son las de matriz plana por la capacidad de fabricación de pellets, la máquina de matriz plana posee una capacidad de descarga para hacer pellets de 80 a 1,000 kg por hora, mientras que la anular puede fabricar entre 0.8 y 2 toneladas por hora. Por otra parte, la alimentación es otro aspecto a considerar, pues las de matriz plana se basan en el peso del material a peletizar, el cual entra directamente a través de la fuente de manera homogénea y en este tipo de peletizadora la etapa de alimentación se lleva a cabo por gravedad y sin la presencia de un tornillo sin fin, de esta forma, el pellet es llevado directamente hacia la zona de prensado, que implica que previamente paso por un proceso de acondicionamiento para poder ingresar en la máquina, debido a que la matriz está en posición horizontal, igual que el eje de los rodillos (Figura 3b). El largo del pellet estará en función de las revoluciones de la matriz y estos serán cortados por unas cuchillas que se encuentran en el interior de la misma (Flórez et al., 2010).

Por otro lado, las peletizadoras de matriz anular fuerzan el material a entrar en la cámara de peletizado, donde a través de unas rasquetas de alimentación rotatorias que son de alta velocidad se distribuye el material a peletizar. La presión juega un papel importante, pues las peletizadoras de matriz plana son ajustables, pues el diámetro de sus rodillos no se encuentra limitado y se puede adaptar de acuerdo a las necesidades, dándole más vida útil a la máquina. La descarga; pues la matriz plana posee rodillos que se encuentran estacionarios, girando la matriz para mover el material peletizado debajo de los rodillos y presionarlo en los pequeños orificios de la matriz formando los pellets.

En general, las peletizadoras de matriz plana son más eficientes por el funcionamiento más práctico de sus componentes y de uso fácil, entre los principales se encuentran, el sistema de ingreso de la materia prima, sistema de transmisión de potencia y sistema de compresión, compactación y extrusión de materia prima (Kingman, 2020).

3.9 El cultivo de jitomate: (*Solanum lycopersicum*)

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza de gran importancia a nivel mundial, debido a su amplio consumo, al tamaño de área cosechada y al valor económico que genera su producción. Durante los últimos años la producción anual ha incrementado, principalmente por el aumento en el rendimiento, además de ser una hortaliza que tiene cada vez más relevancia nutricional, pues es una fuente importante de antioxidantes (licopeno,

beta-caroteno) y vitaminas C y A, los cuales son importantes para la nutrición y la salud humana (Escobar y Lee, 2009). En México, es uno de los cultivos más importantes, pues ocupa el décimo lugar a nivel mundial en superficie sembrada, y es la más cultivada tanto a cielo abierto como en Invernadero. De acuerdo con estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), entre 2013 y 2016, la producción de jitomate aumentó en un 35%, pasando de dos millones 53 mil toneladas a dos millones 780 mil toneladas (SAGARPA, 2017). Actualmente, en México se cultivan alrededor de 11,700 ha de jitomate bajo condiciones de invernadero (AMCI, 2011), utilizando micro túneles con cubierta flotante o casa sombra, junto a un sistema de riego localizado (Pérez y Castro, 2014).

3.9.1 Fisiología del cultivo

El cultivo de jitomate tiene 4 etapas fenológicas importantes: desarrollo vegetativo, floración, producción de fruto y maduración (Figura 4).

La primera etapa, el desarrollo vegetativo, se lleva a cabo desde el momento de la germinación y emergencia de la plántula hasta que aparece el primer racimo floral, el cual se forma por lo general después de que se han formado de 5 a 10 hojas y la planta tiene una altura por encima de los 40 cm. En la segunda etapa de desarrollo, existe un crecimiento simultáneo entre crecimiento vegetativo y reproductivo, que es el momento en el que aparecen nuevas hojas y racimos de flores, a partir de los cuales se van formando sucesivamente los frutos. Transcurridas las primeras dos etapas, se inicia la etapa de producción, que es cuando los primeros frutos alcanzan su madurez y posterior cosecha, tiempo en el que se continúan desarrollando hojas y nuevas flores. Finalmente, las plantas llegan a un estado en el cual, se detienen de forma natural o inducida de su crecimiento, únicamente manteniendo el desarrollo de los frutos que ya se formaron. La maduración de los frutos ocurre primordialmente en dos etapas, la maduración estándar, que se refiere a aquellos frutos que cambian de color al mismo tiempo sobre toda la superficie; la de hombros verdes, que ocurre cuando en el proceso de maduración una parte permanece en un color verde oscuro y la otra ligeramente verde (Escobar y Lee, 2009).

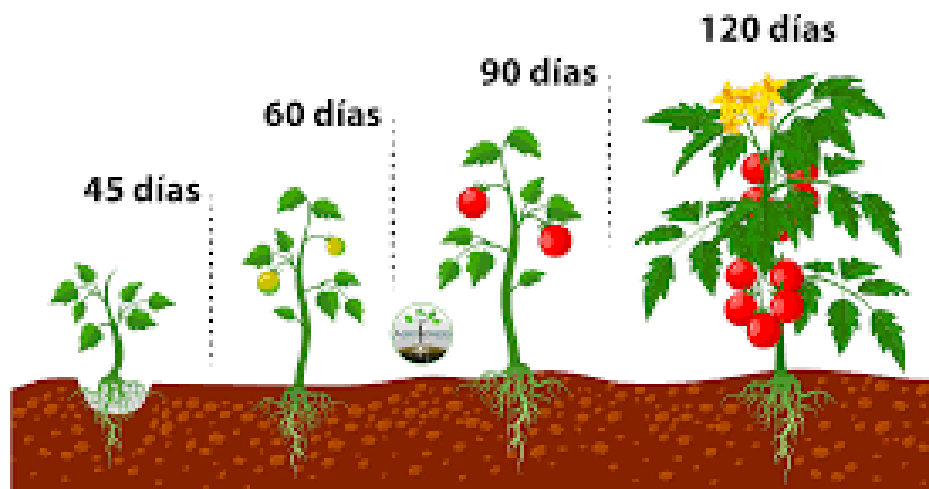


Figura 4. Etapas fenológicas del cultivo de jitomate. (Fuente: Intagri, 2020).

3.9.2 Nutrición de las plantas

El jitomate, al igual que cualquier planta, requiere de elementos nutritivos que son esenciales para su desarrollo, los cuales no deben faltar para su funcionamiento fisiológico y desarrollo completo de su ciclo vegetativo. Cabe señalar que, de no incorporarse estos elementos nutritivos, las plantas pueden mostrar deficiencias que le impediría completar su ciclo vegetativo; que requiere un programa de manejo nutricional basado en el conocimiento adecuado de la cantidad de elementos en el suelo que las plantas requieren. De los nutrientes minerales esenciales para la planta, se encuentran aquellos que se requieren en mayor proporción y son los denominados macronutrientes; los cuales se consideran como primarios: el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), como secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), aquellos elementos que son requeridos en menor proporción, pero igual son esenciales para la planta, se le denominan micronutrientes, y dentro de ellos se consideran el zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

La fertilización convencional incluye un suministro de fertilizantes químicos al suelo o foliar de la mayoría de los 17 elementos minerales que son esenciales para la planta, de acuerdo a las necesidades de la misma, si la aportación de nutrientes del suelo es insuficiente, conduce a un déficit de algunos elementos, que se acentúa en casos de nutrientes poco móviles y no logra llegar al órgano específico donde la planta lo necesita, tal como las hojas, flores o frutos.

Entre este tipo de elementos de poca movilidad se encuentra el Fósforo (P); mineral que se encuentra abundante en gran parte de los suelos donde se cultiva jitomate, sin embargo, es de muy de baja movilidad en el suelo, lo que se refleja en niveles deficitarios de fósforo en jitomates. Por lo que es de suma importancia realizar aplicaciones de fósforo que logren llegar al sistema radicular, considerando se aporte la cantidad suficiente cada temporada (Allende et al., 2017).

4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el uso de residuos orgánicos se ha vuelto cada vez más importante como una manera eficiente de reciclar nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas, así como incorporar nutrientes a suelos que han sido degradados. En particular, la industria avícola, debido a su producción intensiva tiene el potencial de proveer además de huevo y carne, materiales de desecho orgánico y de calidad como la pollinaza. Se ha demostrado que este material tiene grandes ventajas para incrementar la producción en los cultivos, entre las más importantes están el aporte de nutrientes como N, P y K e incremento de la materia orgánica del suelo si se aplica en las dosis adecuadas y a su vez que no contamine ni el suelo ni el agua. A su vez, la tecnología de la peletización se está planteando, en los últimos tiempos, como una de las mejores alternativas de compactación para el aprovechamiento de la biomasa, como una forma de reducir el volumen de los residuos generados por las actividades agrícolas y ganaderas. Es por ello, que la elaboración de pellets fertilizantes es una forma eficaz de manejar los residuos orgánicos, obtener un ambiente más seguro, rentable y a su vez mejorar la fertilidad del suelo, logrando mejorar los atributos físicos, químicos y biológicos del mismo.

La utilización de los diferentes pellets fertilizantes, en este caso elaborados a partir de pollinaza, permitirán mejorar la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes, propiciando así una liberación más controlada de los mismos, evitando así la lixiviación y pérdida de nutrientes como el nitrógeno, el cual no es aprovechable por los cultivos por efecto de riegos y lluvia. Otra forma de pérdida es la volatilización que ocurre especialmente en suelos alcalinos, pues al aplicar el nitrógeno en forma superficial se promueve su volatilización y por lo tanto, su pérdida en estado gaseoso, en general, se estima que se llega a perder hasta el 50% del nitrógeno aplicado. Para el caso del fósforo, este en particular, en suelos tropicales altamente meteorizados tiene una alta capacidad de absorción, debido a la presencia de alto contenido de oxihidróxidos de Al, Fe y caolinita (Campos et al., 2016). De hecho, los grupos funcionales presentes en la superficie de estos minerales (-AlOH, -FeOH) tienen una alta afinidad química con el ortofosfato, lo que da enlaces coordinados de alta energía y reacciones rápidas, por lo tanto, en estas condiciones la mayor parte de fósforo agregado por los fertilizantes altamente solubles en agua no están disponibles para las

plantas, lo que lleva a una baja recuperación del mismo por parte de las plantas y en consecuencia, baja eficiencia de la fertilización fosfatada (Roy et al., 2017).

Por lo antes mencionado, es de suma importancia el desarrollar fertilizantes orgánicos de liberación controlada y de calidad que permitan mejorar los cultivos y con ello disminuir los impactos agroambientales futuros, siendo esta una alternativa sustentable. Con este trabajo se espera obtener un abono en pellets fertilizantes compuesto por materia orgánica (pollinaza) y fertilizantes tradicionales (MAP), sin que la liberación de los nutrientes se vea afectada y al mismo tiempo que sea más eficiente y de liberación lenta, como un fertilizante óptimo para ser utilizado en todo tipo de cultivos, y su aplicación futura en suelos con necesidades o pobres en materia orgánica.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Formular pellets basados en mezclas de materia orgánica como pollinaza e inorgánica usando fosfato de amonio (MAP) para su evaluación como fertilizante de liberación lenta de fósforo en un cultivo de jitomate variedad Floradade en condiciones de invernadero.

5.2 Objetivos específicos

1. Formular pellets organominerales usando diferentes proporciones de pollinaza y fosfato de amonio para elegir la más adecuada para evaluar su desempeño en invernadero.
2. Caracterizar los pellets organominerales fisicoquímicamente usando diferentes técnicas de análisis para su comparación entre los pellets de diferentes proporciones pollinaza-Fosfato monoamónico.
3. Evaluar la liberación de fósforo en el tiempo de los pellets obtenidos, por medio de una cinética mediante Espectrofotometría UV-Vis.
4. Evaluar el uso potencial de los pellets organominerales obtenidos como única fuente de nutrientes en un cultivo de jitomate variedad Floradade (Jitomate bola).

6. HIPÓTESIS

El uso de pellets organominerales de pollinaza con fosfato de amonio propiciará una liberación controlada de fósforo en comparación al fosfato monoamónico comercial, con respecto al tiempo y suministrará el fósforo necesario para el cultivo de jitomate variedad Floradade.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Obtención de la materia orgánica

La pollinaza utilizada como fuente de materia orgánica se obtuvo dentro de un rancho ubicado dentro de la localidad de Jaltepec, perteneciente al municipio de Tulancingo, Hidalgo.

7.2 Proceso de peletización de la materia orgánica-fertilizante

La pollinaza se revolvió para su posterior secado y acondicionamiento a temperatura ambiente; ocurrido lo anterior, se limpió, quitando plumas, piedras y material de mayor tamaño separándolos de la pollinaza. Posteriormente se tamizó, utilizando un tamiz de 2 mm, para entrar al proceso de compactación en la peletizadora.

7.2.1 Contenido de humedad

Se calculó el contenido total de humedad en porcentaje, colocando muestras de pollinaza en 3 vasos de precipitado previamente colocados en el horno de convección por 24 horas y transcurrido este tiempo se volvieron a colocar en la estufa por 24 horas más (Figura 5), posteriormente se pesaron las muestras y se determinó la humedad presente en las mismas por diferencia de masas, de acuerdo a la ecuación 1.

$$H\% = \frac{P_f - P_s}{P_f} \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

H% = Porcentaje de humedad en la muestra.

Pf = masa en gramos de muestra fresca.

Ps = masa en gramos de muestra seca.

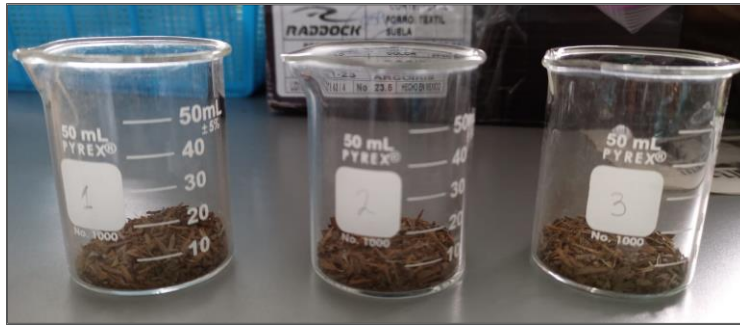


Figura 5. Muestras de pollinaza para determinación de humedad.

7.2.2 Peletización

Se utilizó una peletizadora modelo PP220, Pellet Pros que está compuesta de un molino con una matriz plana con canales de prensa cilíndricos de 6 mm de diámetro y rodillos que fuerzan al material a comprimirse a través de los canales (Figura 6); la pollinaza y las mezclas de pollinaza-MAP se colocaron en la parte superior en lotes de 0.5 kg aproximadamente, depositándose en la matriz y ejerciendo una presión sobre esta, produciendo compresión y temperaturas cercanas en la matriz a los 105 °C.

Debido a que la peletizadora se calienta gradualmente hasta alcanzar una temperatura óptima y constante (alrededor de 90 a 105 °C), los pellets generados al inicio se desechan y una vez obtenidos los pellets necesarios, en la salida se obtienen calientes, se dejaron enfriar extendidos durante 48 horas a temperatura ambiente para posteriormente almacenarlos hasta su uso.



Figura 6. Maquina peletizadora de matriz plana utilizada en este estudio.

Se realizaron pellets en cuatro proporciones diferentes de pollinaza fertilizante (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentajes de la composición de los pellets elaborados.

Tratamiento	Pollinaza (% m/m)	Fosfato de amonio (% m/m)
P50R50	50	50
P60R40	60	40
P70R30	70	30
P100R0	100	0

7.3 Caracterización fisicoquímica de pellets orgánicos y organominerales

7.3.1 Determinación de pH y conductividad eléctrica (dS/m)

El pH y CE se determinaron de acuerdo al método AS-02 y AS-18, establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000 para análisis de suelos. Para ello, se colocaron 5 gramos de pellets en un vaso de precipitado, adicionando 20 mL de agua destilada y se agitó la mezcla de pellets

a intervalos de 5 minutos durante 15 minutos para posteriormente dejar reposar las muestras por 15 minutos más.

Previo a las lecturas, se calibró el potenciómetro, enjuagando con agua destilada cada electrodo, enseguida se introdujeron los electrodos y se procedió a registrar el pH y la conductividad eléctrica cuando los electrodos se estabilizaron, registrando los resultados de las muestras por triplicado.

7.3.2 Capacidad de retención de Humedad

La Capacidad de retención de Humedad se define como la capacidad que tiene un material para absorber una determinada cantidad de agua. Esta se calculó de acuerdo a la Ecuación 2 y se expresó la capacidad de retención de humedad de los pellets según la cantidad de agua añadida.

$$CRH = \frac{P1 * \left(\frac{v}{P1}\right)}{P1 * \left(\frac{v}{P2}\right)} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

CRH = Capacidad de retención de agua libre o humedad retenida.

P1 = masa en gramos muestra seca.

P2 = masa en gramos muestra húmeda.

v= mililitros de agua añadida

Para evaluar esta característica, se pesaron 5 gramos de pellets en un vaso de precipitado y posteriormente se adicionó agua destilada, agregando un mililitro por cada 3 minutos hasta su saturación. Por último, se pesaron nuevamente las muestras y se registraron las masas para su cálculo.

7.3.3 Índice de durabilidad

La durabilidad se define como la capacidad que tienen los pellets para resistir la manipulación y el transporte. Se reportó como el porcentaje obtenido por la diferencia entre la masa inicial de los pellets y la masa que queda en el tamiz al finalizar el tamizado, se calculó según la ecuación 3 y se expresó la durabilidad mecánica de los pellets según Carrillo (2015).

$$DM = 100 - \left[\frac{mi - mf}{mi} \right] \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

DM= índice de durabilidad en porcentaje

mi= masa inicial de los pellets en gramos

mf= masa final de los pellets que quedan en el tamiz en gramos

Se pesaron 50 g de pellets en un vaso de precipitado de 1000 mL y se agitaron a 500 rpm durante 10 min. Transcurrido ese tiempo se tamizaron las muestras en un tamiz de 2 mm para posteriormente determinar la masa de las muestras que quedaron en el tamiz y realizar el cálculo correspondiente.

7.3.4 Índice de dureza

La dureza de un pellet se define como la cantidad de fuerza necesaria para romper un pellet o una serie de pellets al mismo tiempo, esta se expresó en N (Newton) como la fuerza ejercida en el texturómetro hasta romper el pellet.

Para este proceso se utilizó un texturómetro (Figura 7), calibrando el equipo y configurándolo en el software de acuerdo a las dimensiones promedio de los pellets, previo a las lecturas. Las pruebas se realizaron utilizando una sonda de metal en forma de V invertida junto a una celda de carga que va de 0 a 100 N y deteniendo la prueba después de que el sólido peletizado se partió por la mitad. La fuerza media de rotura y su desviación estándar se calcularon sobre la base de 10 repeticiones por prueba.

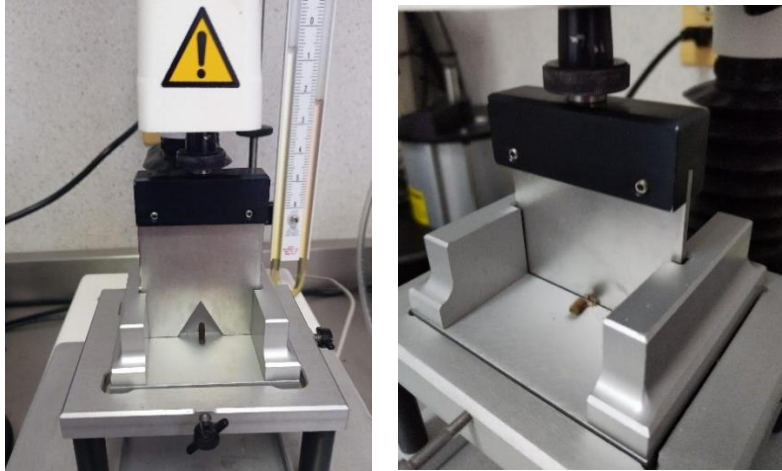


Figura 7. Texturómetro utilizado para prueba de dureza en pellets.

7.3.5 Determinación de macro y micronutrientes de los pellets organominerales

Se llevó a cabo la determinación de macro y micronutrientes en los cuatro tratamientos (P50R50, P60R40, P70R30 y P100R0). Para la determinación de Nitrógeno total, se realizó por método Kjeldahl, el cual se analizó en el laboratorio multidisciplinario de ICAP, dentro de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para el caso del fósforo y potasio, se realizó Análisis de microscopia para determinación de nutrientes, a través de una imagen electrónica de barrido (MEB) y análisis semicuantitativo elemental por Espectroscopia de rayos X de Energía Dispersiva (EDS), en el Centro de Nanociencias Micro y Nanotecnología perteneciente al Instituto Politécnico Nacional.

7.3.6 Cinética de liberación de fósforo en los pellets organominerales

Para este estudio, se mezclaron los pellets con agua destilada en una relación masa: volumen de 5:20 (g:mL). Primero se determinó fósforo total (Figura 8a), agitando la mezcla y dejándola reposar durante 15 minutos, en momentos intermitentes, el lixiviado se recogió y filtró utilizando una membrana de filtro de 0.45 μm . La concentración de fósforo en el lixiviado se midió utilizando el análisis colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico o método estándar de acuerdo a López (2019).

La cinética de liberación del fósforo (Figura 8b) se realizó con el mismo procedimiento, colocando los 5 g de pellets de cada uno de los tratamientos en embudo con membrana de filtro de 0.45 μm y adicionando 20 mL de agua destilada de manera intermitente, para recoger los lixiviados pasados 30 a 40 minutos y almacenándolos hasta su medición. Estos lixiviados

se obtuvieron diariamente y hasta cumplir 10 días de estudio; las variaciones en la concentración de fósforo estuvieron en función del tiempo y estos datos se graficaron de acuerdo al programa Excel.

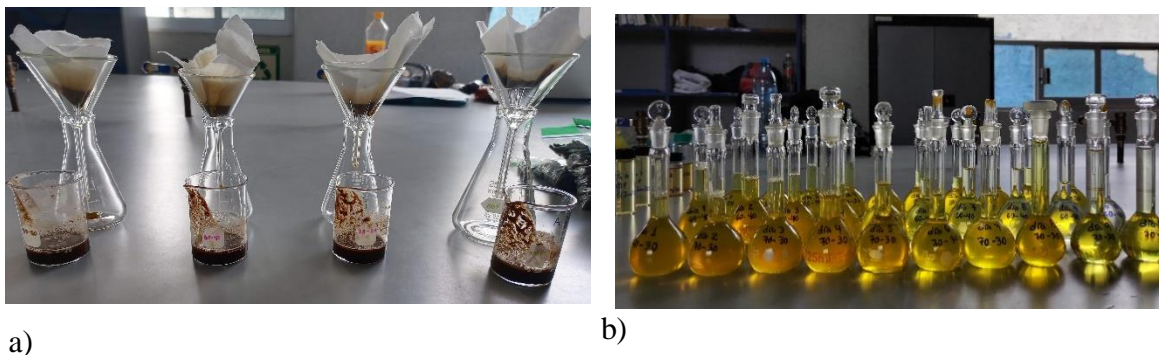


Figura 8. Cinética de liberación de fósforo de los pellets obtenidos. a) Obtención de lixiviados para análisis, b) Preparación de muestras de los lixiviados.

7.3.7 *Análisis colorimétrico del Ácido vanadomolibdofosfórico para la determinación de fósforo*

Se determinó la presencia de fosfatos solubles en una muestra de agua mediante espectrofotometría convencional Ultravioleta-Visible (UV-Vis) a través del método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico. Dicho método está basado en la reacción del ortofosfato con el reactivo vanadomolibdico formando un heteropoliácido de color amarillo cuya absorción de luz se mide a una longitud de onda de 450 nm. La intensidad en el color amarillo es proporcional a la concentración de fosfatos (López, 2019).

Los reactivos y material a utilizar en este método fueron los siguientes:

Reactivo	Material
❖ Metavanadato amónico NH_4VO_3	❖ Matraces aforados de 50, 100 y 500 mL
❖ Ácido clorhídrico HCl	❖ Pipetas de 20 y 10 mL
❖ Molibdato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	❖ Vaso de precipitado de 250 mL
❖ Dihidrogenofosfato de potasio KH_2PO_4	❖ Pipetas Pasteur
	❖ Probetas

7.3.7.1 *Elaboración del reactivo combinado*

De forma inicial se elaboró la disolución A y B, para posteriormente formar el reactivo combinado.

Disolución A: Se disolvieron 12.5 g de molibdato amónico en 150 mL de agua destilada y se llevó a ebullición constante hasta disolver por completo.

Disolución B: Se disolvieron 0.625 g de metavanadato amónico calentándolo a ebullición constante en 150 mL de agua destilada, para dejarlo enfriar y una vez a temperatura ambiente se adicionaron otros 150 mL de ácido clorhídrico concentrado.

Reactivo combinado: Se dejó enfriar por completo la disolución B y se vertió la disolución A sobre esta, mezclando y diluyéndolo a 500 mL con agua destilada.

7.3.7.2 *Curva de calibración*

Disolución madre (50 mg P/L): Se disolvieron 0.0220g de dihidrogenofosfato de potasio en 100 mL de agua destilada.

Blanco: Se añadieron 25 mL de agua destilada, con 10 mL de reactivo combinado y se enraso con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Disolución patrón 1 (0.05 mg de P): Se añadió 1 mL de disolución madre, más 10 mL de reactivo combinado y se enraso con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Disolución patrón 2 (0.1 mg de P): Se añadieron 2 mL de disolución madre, más 10 mL de reactivo combinado y se enraso con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Disolución patrón 3 (0.5 mg de P): Se añadieron 10 mL de disolución madre, más 10 mL de reactivo combinado y se enraso con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Disolución patrón 4 (1.0 mg de P): Se añadieron 20 mL de disolución madre, más 10 mL de reactivo combinado y se enraso con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Una vez realizados los patrones y el blanco, se obtuvo el espectro del patrón seleccionando la longitud de onda a 450 nm y realizando un auto cero para la corrección del blanco.

7.3.7.3 *Elaboración y lectura de las muestras*

Para la elaboración de las muestras, se colocaron 2.5 mL del extracto de los pellets de cada tratamiento y 2 mL del reactivo combinado para enrasar con agua destilada en un matraz de 25 mL (Figura 8b). Para leer las absorbancias en cada muestra, se ocupó un espectrofotómetro en una longitud de onda de 450 nm (Figura 9). Previamente se realizó la lectura del blanco y los cuatro patrones, para obtener la curva de calibración (Anexo 1) y enseguida se procedió a la lectura de las absorbancias de cada una de las muestras, realizando dichas lecturas por triplicado. Una vez obtenidas las absorbancias, se realizaron los cálculos y conversiones correspondientes para así obtener la cantidad de fósforo en cada muestra, esta expresada en mg P/L.



Figura 9. Espectrofotómetro utilizado para lectura de muestras (lixiviados).

7.4 **Diseño Experimental y Análisis estadístico**

Para los tratamientos, se muestra la matriz del diseño experimental, correspondiente a un diseño $(4)^2$, 4 niveles con 2 factores, que hacen un total de 16 tratamientos (Tabla 4). Para el análisis estadístico se utilizó el programa Minitab18, utilizando un nivel de probabilidad del 95% para determinar las diferencias estadísticas.

Tabla 4. Diseño experimental utilizado para los tratamientos.

Niveles	Tratamiento	Factores	
		A	B
		Pollinaza (% m/m)	Fosfato mono amónico (% m/m)
1	P50R50	50	50
2	P60R40	60	40
3	P70R30	70	30
4	P100R0	100	0

7.5 Cultivo de jitomate para evaluación de los pellets organominerales

Habiendo obtenido los resultados para la cinética de liberación del fósforo, se procedió a evaluar la eficiencia de los pellets organominerales en un cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) variedad Floradade. Para ello, se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar, utilizando dos tipos de pellets, P70R30 y P100R0 como punto de comparación con el tratamiento antes mencionado; ocupando 3 niveles expresados en cantidad de pellets en porcentaje para ambos tratamientos, siendo 15%, 25% y 40% respectivamente, más el control positivo con fertilizante comercial 11.47-8-6 (Bayfolan® Forte) y el control negativo con sustrato y riegos con agua, los tratamientos se realizaron con 5 repeticiones, se ubicaron en invernadero un total de 50 macetas (Tabla 5).

Las variables respuesta a evaluar fueron: altura de la planta, grosor del tallo, tamaño de la hoja, cantidad de frutos por bolsa, peso fresco del fruto, diámetro y longitud del mismo.

Tabla 5. Diseño experimental de tratamientos de fertilización para el cultivo de jitomate.

Niveles	Tratamiento	Factores	
		A	B
		Pellets	Porcentaje %
1	T1	P70R30	15
	T2	P70R30	25
	T3	P70R30	40
2	T4	P100R0	15
	T5	P100R0	25
	T6	P100R0	40

7.5.1 Germinación y establecimiento del cultivo

Las semillas fueron germinadas en charolas de unicel de 200 cavidades en el invernadero del área forestal dentro del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP), perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El sustrato de las bolsas negras para vivero se preparó con turba y perlita al 70% y 30% respectivamente, posteriormente cada tratamiento, se adicionó el porcentaje en masa de pellets según la Tabla 5, las bolsas fueron colocadas completamente al azar. Las plántulas fueron trasplantadas después de 5 semanas de germinación, colocando una planta por bolsa y dando seguimiento durante 14 semanas que duró su ciclo agrícola.

7.5.2 Desarrollo vegetativo

Una vez establecido el cultivo, las plantas se regaron durante 5 semanas cada tercer día y posteriormente diario. Cabe resaltar, que para el control positivo se utilizó un fertilizante comercial 11.47-8-6, que se aplicó de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, siendo estas 3mL por litro de agua durante el desarrollo vegetativo, 5mL en etapa de floración y 8mL en producción de fruto, de manera foliar cada tercer día. A partir de la segunda semana después del trasplante, se realizaron las mediciones de variables en las plantas y posteriormente cada 8 días hasta el día de cosecha en la semana 14. Los niveles de pH en el sustrato se midieron al inicio y en la semana 14.

7.5.3 Poda y tutorado

El tutorado se llevó a cabo en la semana 6, cortando las hojas basales y colocando arillos y ganchos correspondientes (Figura 10). De igual forma, se realizó la primera poda en esa semana y posteriormente otra en la semana 11 de las ramas más basales. Entre la semana 6 y 7 se aplicó fungicida (Captán®) y un insecticida (Rogor®), con la finalidad de prevenir y curar variedad de enfermedades vasculares e insectos plaga del cultivo.

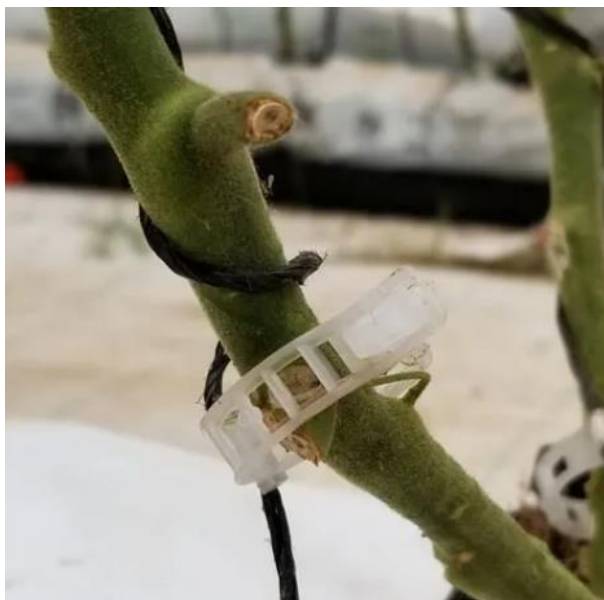


Figura 10. Tutorado de las plantas de jitomate con arillos de plástico.

7.5.4 Análisis de contenido de nutrientes en tejido vegetal

En la semana 10, se analizó el contenido de nutrientes en tejido vegetal, tomando muestras de las ramas intermedias para cada uno de los tratamientos, en 3 repeticiones. Posteriormente, los peciolo se maceraron y prensaron para obtener extractos que fueron analizados mediante medidores LAqua twin de Horiba para determinar contenido de nitratos (NO_3^-), Potasio (K^+) y Calcio (Ca^{2+}) con la finalidad de conocer el estado nutricional de las plantas como indicativo de que los nutrientes de los pellets fueron asimilados.

7.5.5 Cosecha

La cosecha se llevó a cabo en la semana 14, cortando todos los jitomates por maceta para obtener el rendimiento por planta y posterior análisis estadístico.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Obtención de la Materia Orgánica

La pollinaza se obtuvo dentro de la localidad de Jaltepec, perteneciente al municipio de Tulancingo, Hidalgo. Esta pollinaza es procedente de una granja llamada Pilgrim's® ubicada en Poza Rica, Estado de Veracruz, la cual después de ser colectada se puso a secar para su posterior encostado y traslado; la muestra obtenida para este estudio tenía 1 mes en la localidad de Jaltepec.

8.2 Proceso de peletización de la materia orgánica-fertilizante

Inicialmente, se revolvió la pollinaza con la finalidad de homogeneizarla y posteriormente se dejó secar a temperatura ambiente (20-25°C) durante 24 horas, transcurrido este tiempo se encontraba lista para pasar al proceso de peletizado.

8.2.1 Contenido de humedad

Previo al peletizado se realizó prueba de contenido de humedad por diferencia de masas y esta fue del 15%. Cabe resaltar, que el contenido de humedad presente en la pollinaza es importante para la elaboración de los pellets, el resultado obtenido coincide con lo reportado por Nascimento y colaboradores (2020), quienes reportan que un alto contenido de humedad conlleva a un bajo contenido de nutrientes, mostrando que los niveles óptimos de humedad en la pollinaza deben variar entre 9 y 15%. De igual manera, López-Mosquera y colaboradores (2011), reportan que un fertilizante orgánico debe tener menos de un 35% de humedad para ser considerado como fertilizante orgánico de calidad y en caso contrario la materia orgánica debe ser sometida a un proceso de secado o deshidratación para así obtener porcentajes de humedad que oscilen en un rango entre el 11 y 15%, lo que asegurara un contenido de humedad adecuado. Bajo el mismo contexto, Estrada (2005) recalca la importancia de la humedad en la pollinaza, si esta se va a utilizar como alimento para ganado o como fertilizante, debe considerarse su composición y la forma de almacenamiento, la cual nos permite determinar el contenido de humedad de la misma, pues en la pollinaza fresca el contenido de humedad es mayor que en la pollinaza seca o deshidratada, teniendo esta última un porcentaje de humedad entre 7 y 15%, condiciones bajo las cuales posee una mayor cantidad de nutrientes por unidad de masa. De esta manera, podemos decir que el porcentaje de humedad presente en la pollinaza utilizada para este estudio se encontró dentro de los porcentajes óptimos para procesarse en la peletizadora.

8.2.2 Peletización

Para la elaboración de los pellets, se realizaron las mezclas de acuerdo a la Tabla 1, alcanzando para cada tratamiento 1 kg de mezcla, sin embargo, fue necesaria la adición de distintos porcentajes de humedad para el proceso de fabricación de pellets y de esta manera conseguir una mezcla consistente (Tabla 6). Posteriormente, una vez obtenidos los pellets con la firmeza y tamaño adecuados (Figura 11), entre 4 y 6 mm de diámetro, todos los pellets se extendieron y dejaron secar durante 48 horas a temperatura ambiente.

Tabla 6. Porcentaje de humedad agregado a las mezclas de pollinaza: MAP para la obtención de los pellets organominerales.

Pellets	Humedad (%)
P50R50	7
P60R40	8
P70R30	9
P100R0	26

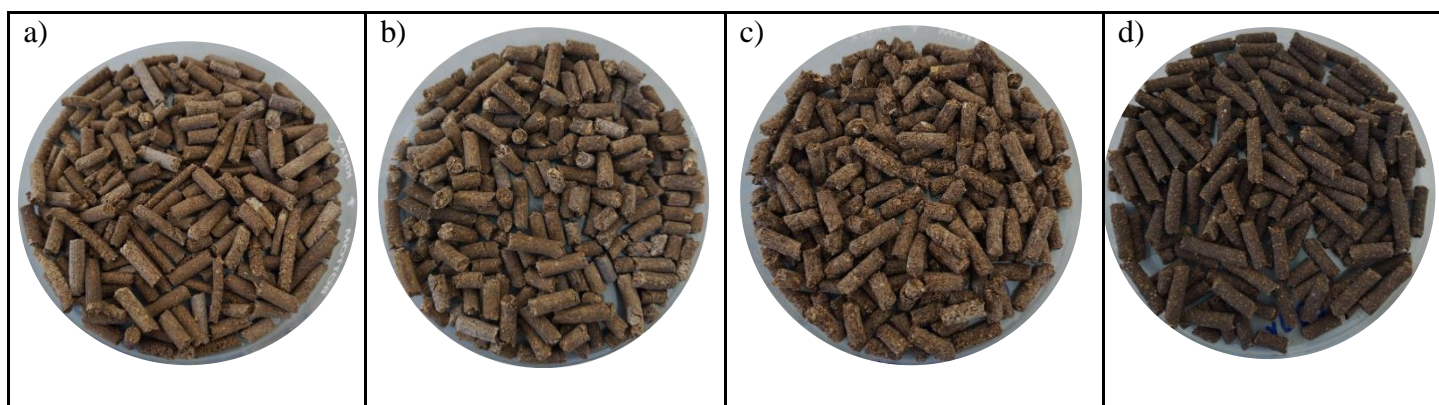


Figura 11. Pellets organominerales elaborados de acuerdo a los tratamientos: a) P50R50, b) P60R40, c) P70R30 y d) P100R0.

8.3 Caracterización fisicoquímica de pellets organominerales

8.3.1 Determinación de pH y conductividad eléctrica (dS/m)

Una vez realizadas las mediciones correspondientes por triplicado, para pH y conductividad eléctrica se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis de medias para pH y conductividad eléctrica, de todos los tratamientos.

Tratamiento	pH	CE (dS/m)
P100R0	8.12a	0.78a
P70R30	5.32b	2.94b
P60R40	5.10c	2.22c
P50R50	4.85d	4.00d

Para ambas características se realizaron análisis de medias de Tukey, con un intervalo de confianza del 95%, encontrando diferencias significativas en todos los tratamientos, sin embargo, para el pH podemos observar que los niveles de todos los tratamientos oscilan entre 4.85 y 8.12, siendo el tratamiento P100R0 el que presentó el nivel más alto, valores de pH entre 7.8 y 8.4, fueron reportados por López-Mosquera y colaboradores (2011), en pellets de 100% pollinaza, debido a la absorción de amonio generada en las camas. Mazeika y colaboradores (2016), reportan valores de pH 6.5 y 1.33 dS/m en CE para pellets pollinaza: DAP, asimismo, Sarvi y colaboradores (2021), reportaron valores de pH para pellets de pollinaza: turba de 6.2 a 5.9, estos valores son similares a los tratamientos P60R40 y P70R30 y también valores de 0.96 dS/m para pellets solo de pollinaza y 1.2 dS/m para pellets pollinaza: turba para la CE (Tabla 7).

Entre los diferentes pellets obtenidos, se eligieron los pellets P70R30 para la evaluación en invernadero, ya que tienen pH adecuados para la liberación de fósforo en suelo (Gráfico 2) y conductividad eléctrica que indica la solubilidad de sales presentes que incluye nutrientes en forma de iones.

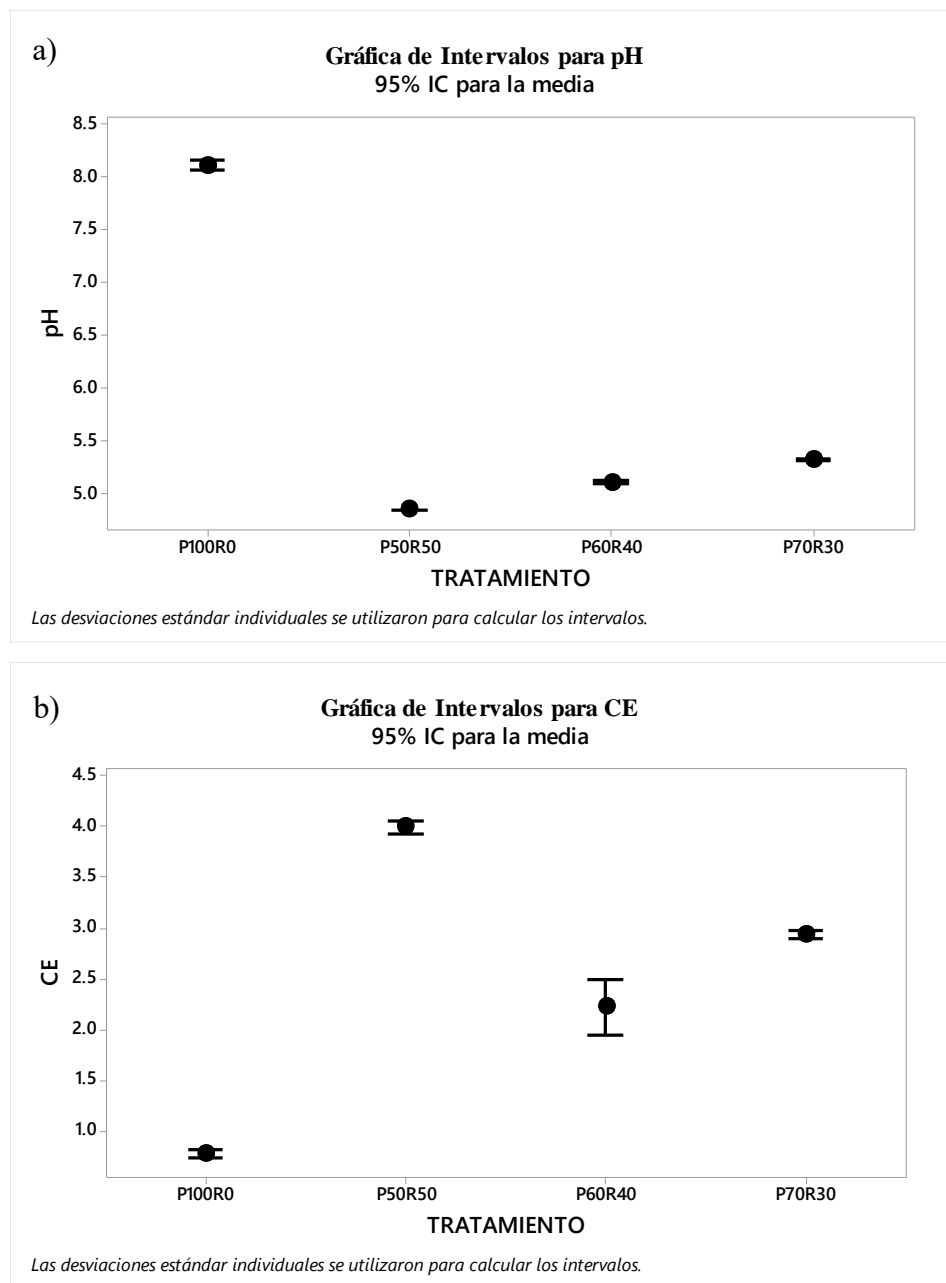


Gráfico 1. Gráficas de intervalos de pH y CE de los pellets obtenidos. a) pH y b) CE, en cada uno de los tratamientos.

Se realizaron gráficas de intervalos de pH y CE promedio (Gráfico 1 a y b) para cada uno de los tratamientos (pellets organominerales), en el caso del pH, el rango más alto lo tiene el tratamiento P100R0, valor similar al reportado por Vandecasteele y colaboradores (2013), con niveles de 8.5 de pH para pollinaza compostada a través de la granulación; Mazeíca y colaboradores (2016) registraron valores similares con un pH en pellets de pollinaza de 8.15,

sin embargo, al adicionar algún componente mineral este se modificaba, debido a la presencia de concentraciones significativas de amoníaco, urea y algunos nutrientes secundarios como Ca y Mg en la materia orgánica. De esta forma, podemos observar en el grafico 1 que el resultado que obtenemos de pH para los tratamientos P100R0 y P70R30, es significativo, pues el primero es básico, sin embargo, conforme disminuye la cantidad de pollinaza y aumenta la cantidad de fertilizante fosfato monoamónico los pellets adquieren acidez.

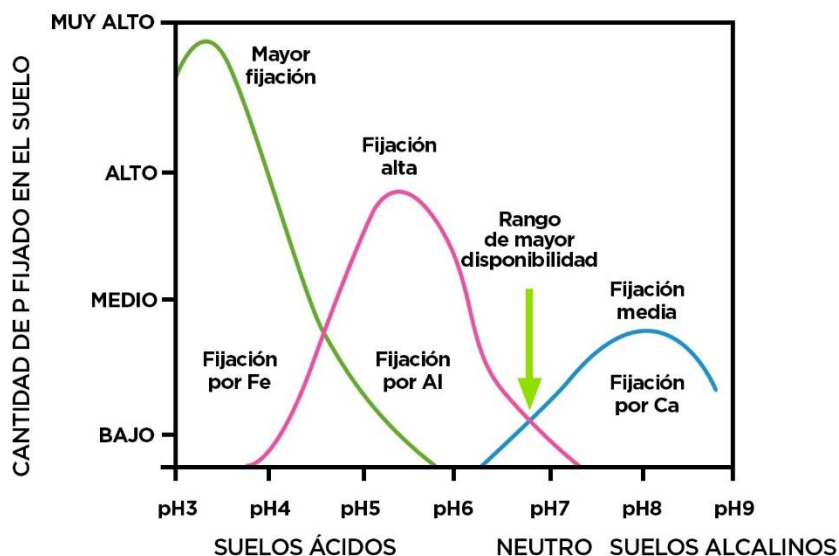


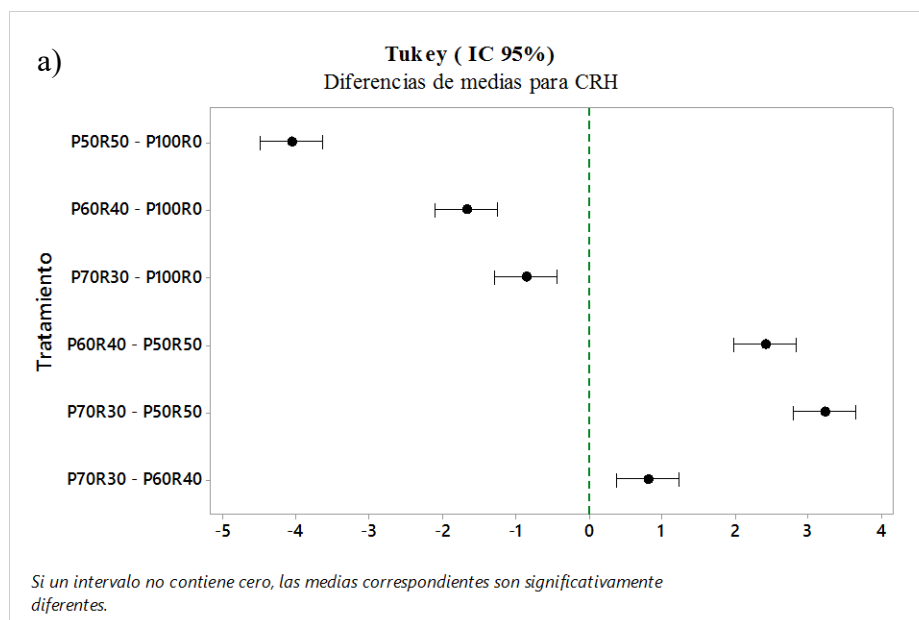
Gráfico 2. Dinámica del fósforo en el suelo con respecto al pH (Fuente: Sánchez, 2021).

8.3.2 Capacidad de retención de humedad

Se determinó la capacidad de retención de humedad (CRH) como la cantidad de agua absorbida por una muestra de pellets hasta su saturación. Se realizaron comparaciones múltiples de Tukey (Tabla 8), observando que todos los tratamientos presentan diferencias significativas.

Tabla 8. CRH para cada tratamiento de pellets, con comparación de medias de Tukey.

Tratamiento	Media (CRH)
P100R0	10.20a
P70R30	9.34b
P60R40	8.53c
P50R50	6.13d



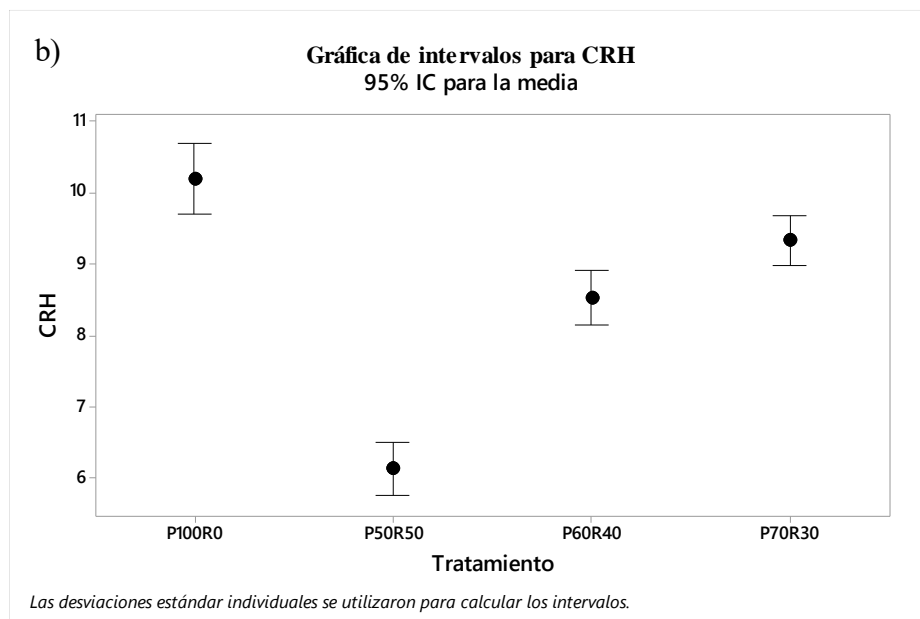


Gráfico 3. Capacidad de Retención de Humedad de los pellets obtenidos. a) Comparaciones múltiples de Tukey, b) Intervalos de frecuencia para CRH, de cada uno de los tratamientos.

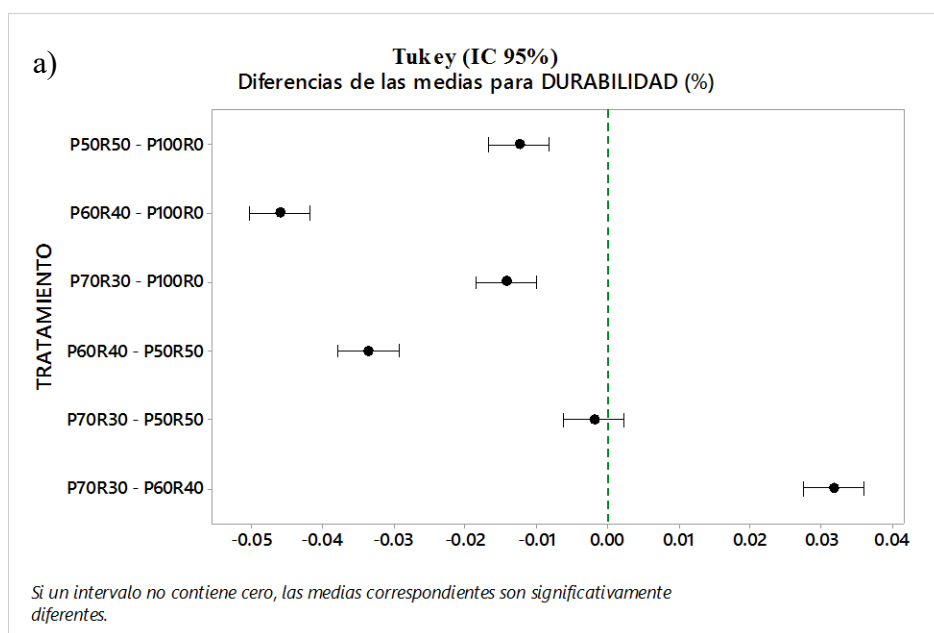
El gráfico 3a nos muestra las comparaciones de Tukey realizadas para esta característica, y el 3b muestra la mayor y menor Capacidad de Retención de Humedad que ocurre en los tratamientos P100R0 y P50R50, respectivamente. Lo anterior, es contrario a lo mencionado por Mazeica y colaboradores (2016), que muestran en su estudio que la absorción de humedad aumenta conforme el contenido de fertilizante mineral DAP y KCl incrementa, sin embargo, en este trabajo se observó que la resistencia a la tracción y aplastamiento del pellet disminuye, por la adición de MAP en la elaboración de pellets de materia orgánica, esto puede deberse a la capacidad de la materia orgánica para retener agua; la materia orgánica descompuesta tiene características que permiten la retención de humedad como baja densidad aparente, formación de poros, alta agregación, presencia de compuestos hidrofílicos (Lal, 2020).

8.3.3 Índice de durabilidad

Se determinó el índice de durabilidad (ID) como la capacidad que tienen los pellets para resistir su manipulación y transporte. Se analizaron todos los tratamientos a través de un análisis de medias de Tukey obteniendo los siguientes resultados expresados en porcentaje (Tabla 9). Los pellets P100R0 y P60R40 muestran diferencias significativas.

Tabla 9. Medias obtenidas para el índice de durabilidad en todos los tratamientos.

Tratamiento	Media (ID)
P100R0	99.98a
P50R50	99.97b
P70R30	99.97b
P60R40	99.94c



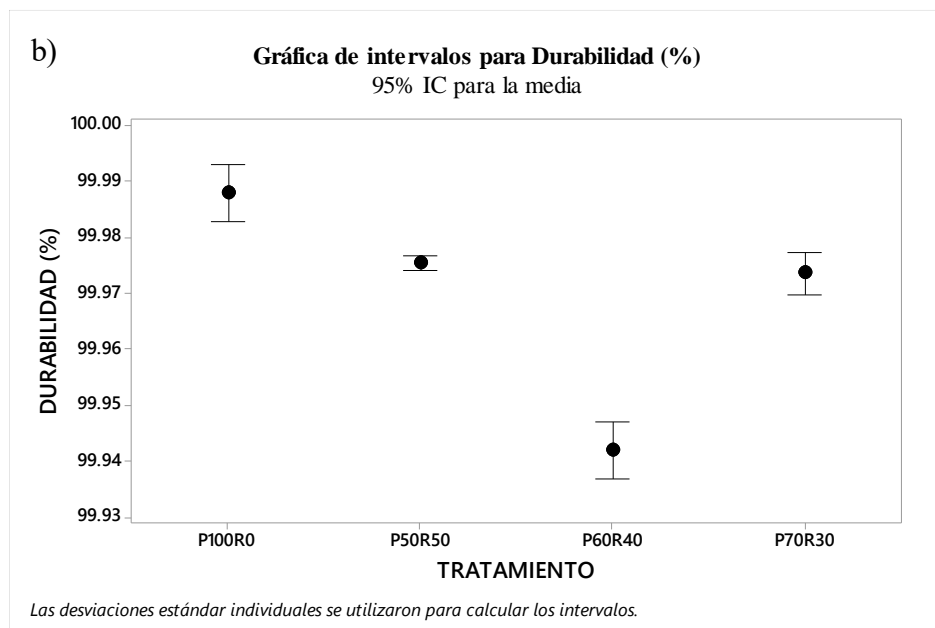


Gráfico 4. a) Comparaciones múltiples de Tukey, b) Intervalos de frecuencia para ID, de cada uno de los tratamientos.

Podemos observar que, de todos los tratamientos, P60R40 y P100R0 son significativamente diferentes al resto (Gráfico 4a), siendo el tratamiento P100R0 el que posee mayor porcentaje de durabilidad o resistencia y a su vez el P60R40 el de menor porcentaje de durabilidad. Sin embargo, las diferencias son mínimas, estos resultados coinciden a los reportados con Ríos (2017), que muestra que las pruebas de durabilidad para pellets de gallinaza con cascarilla de arroz no muestran diferencias significativas entre tratamientos y a la vez contrario a lo reportado por Mazeica y colaboradores (2016), que reportan un aumento en la resistencia al aplastamiento significativamente con la aplicación de fertilizantes minerales (DAP y KCl). En este estudio, el tratamiento con más porcentaje de durabilidad fue el que no posee MAP, lo que significa que el material orgánico tiene una estructura de alta agregación. De igual manera, se llevó a cabo prueba de intervalos para cada tratamiento, observando que los tratamientos P70R30 y P50R50 poseen una mínima diferencia entre ellos, comparado con el de mayor porcentaje de durabilidad (Gráfico 4b).

Es importante mencionar que, en un estudio realizado por Benites y colaboradores (2010), resaltan que la baja resistencia a la rotura de los fertilizantes organominerales producidos a partir de estiércol de pollos es todavía un punto a mejorar, debido a que la materia orgánica

tiende a desintegrarse notablemente en el transporte y almacenamiento, dificultando así la comercialización y aplicación de estos productos. Por tanto, los pellets de todos los tratamientos poseen un porcentaje de durabilidad que supera el 99% (Thapa y Engelken, 2020), lo que les permite tener una distribución adecuada tanto de la materia orgánica como del reactivo de fosfato monoamónico y los hace pellets idóneos para su manipulación y transporte.

8.3.4 Índice de dureza

El índice de dureza se define como la fuerza ejercida sobre el pellet hasta su rotura, expresada en Newton. Se determinó en 10 repeticiones de pellets por tratamiento. De los resultados obtenidos se realizó comparación de medias de Tukey en parejas con un 95% de confiabilidad (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de medias para la dureza de pellets obtenidos.

Tratamiento	Dureza
P50R50	15.41a
P70R30	14.59a
P100R0	14.08a
P60R40	10.96b

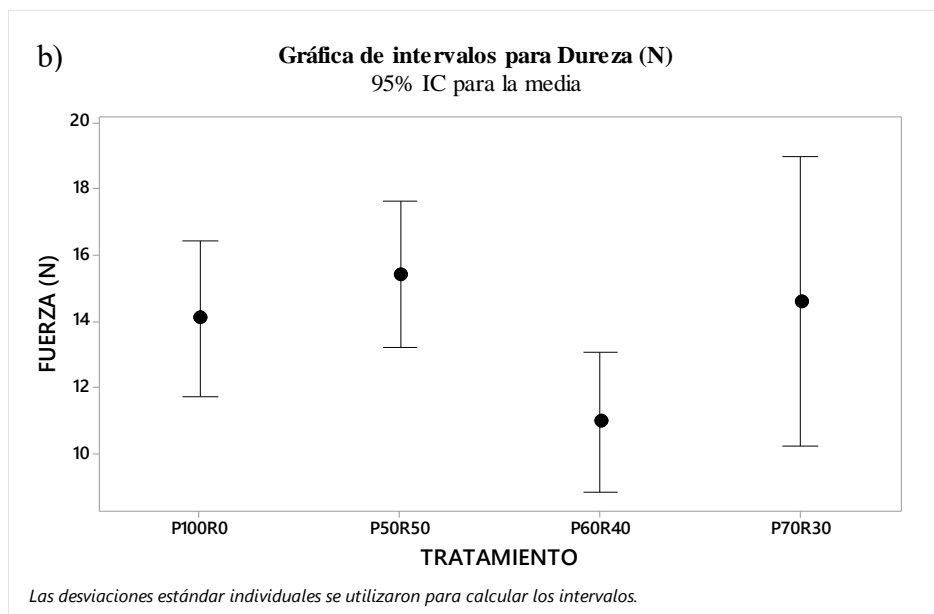
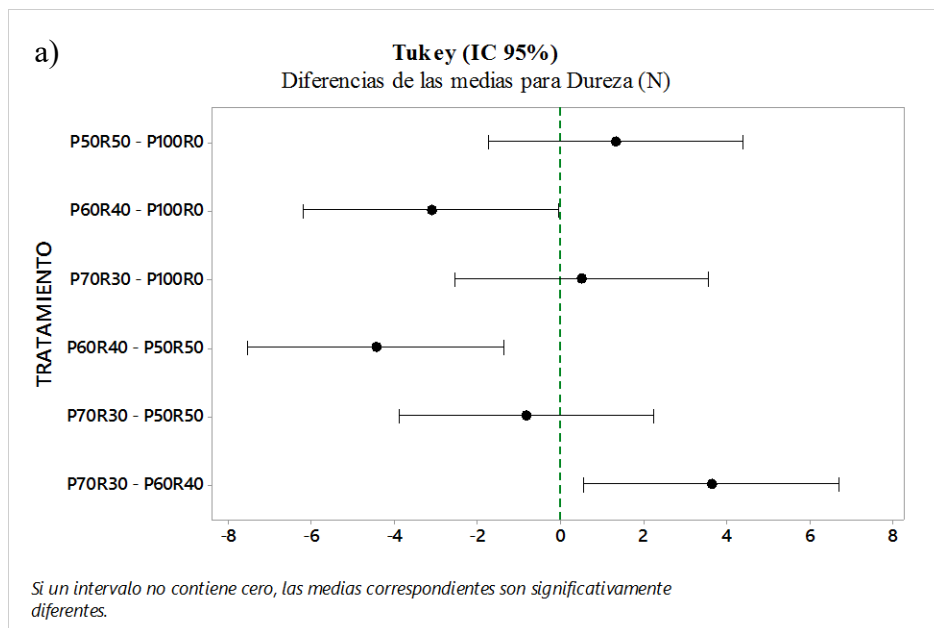


Gráfico 5. Índice de dureza de los pellets obtenidos. a) Análisis de medias de Tukey y, b) Gráfica de intervalos para dureza de todos los tratamientos.

En esta característica, se puede observar que, el único tratamiento que tuvo diferencia significativa fue P60R40 (Gráfico 5a), siendo estos pellets los de menor dureza. De igual manera, en los intervalos de esta característica (Gráfico 5b), se observa que entre el resto de los tratamientos no existieron diferencias significativas. Lo anterior nos refiere que al aumentar la cantidad de componentes minerales la dureza del pellet disminuye; lo cual coincide con Nascimento y colaboradores (2019) que reportan que los pellets

organominerales requieren de aditivos como MgO para mejorar su fuerza. Por tanto, los pellets organominerales de cada uno de los tratamientos poseen una dureza adecuada que permite un manejo fácil y su resistencia al impacto fue idónea sin la necesidad de agregar materiales aglutinantes, al mismo tiempo que la liberación de fósforo no es afectada. Nascimento y colaboradores (2020) reportan que, para conseguir efectos positivos en la mejora de la dureza de los pellets fertilizantes, requiere de un aditivo y que la dureza depende de la concentración que se utilice. En dicho trabajo, las pruebas indicaron que el uso de aditivos no influye en la liberación de nutrientes; por lo que, para este estudio, no fue necesaria la adición de materiales aglutinantes, en virtud de que la pollinaza por si sola proporciona la firmeza y capacidad aglutinante necesaria para la elaboración de estos pellets organominerales.

8.3.5 *Determinación de N-P-K en pellets organominerales*

Se llevó a cabo la determinación del contenido de N por Kjeldahl y P y K por medio de EDS en los pellets organominerales obteniendo los resultados de la Tabla 11.

Tabla 11. Contenido de macronutrientes en todos los tratamientos.

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)
P50R50	6.77	9.49	1.21
P60R40	5.59	9.35	1.32
P70R30	5.03	8.03	1.72
P100R0	2.11	1.23	1.79

Conocer el contenido de macronutrientes en los pellets es importante, pues la pollinaza potencia el contenido de nutrientes al pasar por un proceso de secado y peletizado (Estrada Pareja, 2005). La cantidad de nutrientes en los pellets elaborados coinciden con lo reportado por algunos autores; Vandecasteele y colaboradores (2013), reportaron contenidos de nitrógeno con cantidades que oscilan entre el 1.96 y el 7%, para pellets de pollinaza al 100% enriquecidos con harina de plumas. Keskinen y colaboradores (2020) y Grijalva y colaboradores (2010) reportan una cantidad de 1.07 y 1.33% de fósforo para pellets de pollinaza; y finalmente para potasio, los valores obtenidos se encuentran similares a los

registrados por Sarvi y colaboradores (2021) con un valor máximo de 2% de potasio para pellets de pollinaza con harina de plumas. Lo anterior se debe a que el contenido de nutrientes depende de los materiales que se mezclan para fabricarlos, además, del tiempo y modo de almacenamiento del estiércol y los métodos de procesamiento que se llevan a cabo (Siddique y Robinson, 2003).

En las siguientes figuras (12-15) se observan los espectros MEB-EDS que muestran el contenido relativo de macro y micronutrientes presentes en los pellets obtenidos, los picos corresponden a las principales señales de los componentes de las diferentes muestras de pellets.

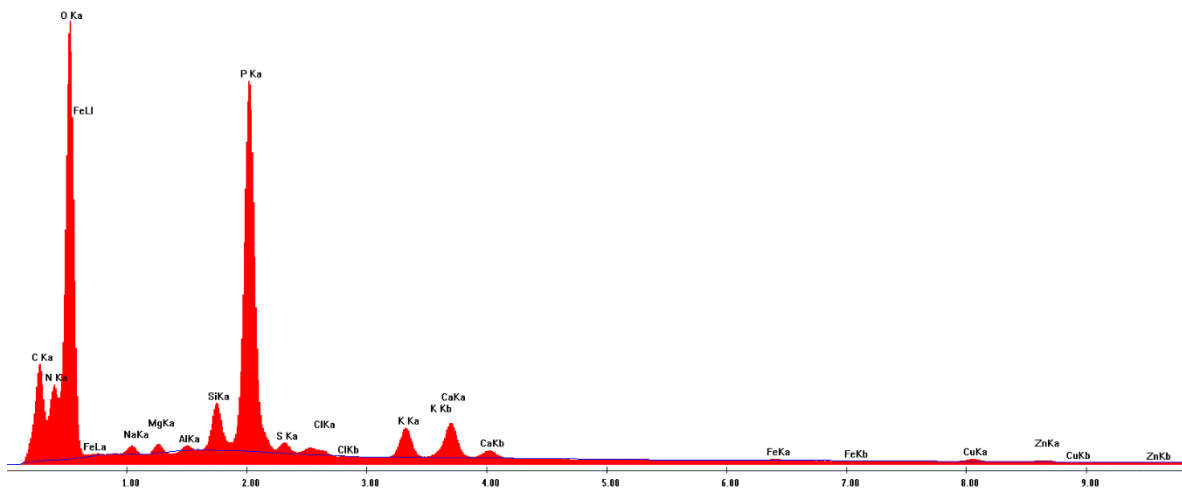


Figura 12. Espectro de los pellets P50R50 obtenido por MEB-EDS.

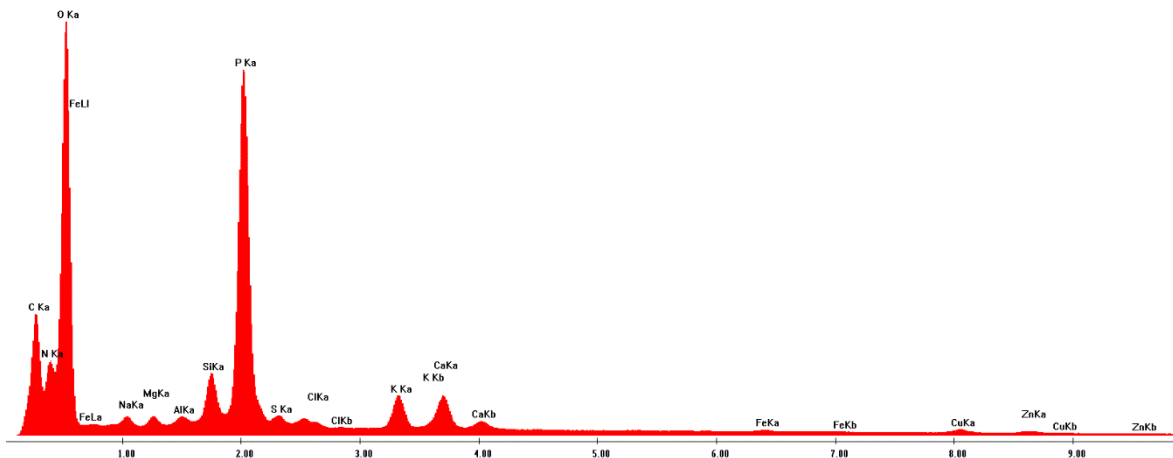


Figura 13. Espectro de los pellets P60R40 obtenido por MEB-EDS.

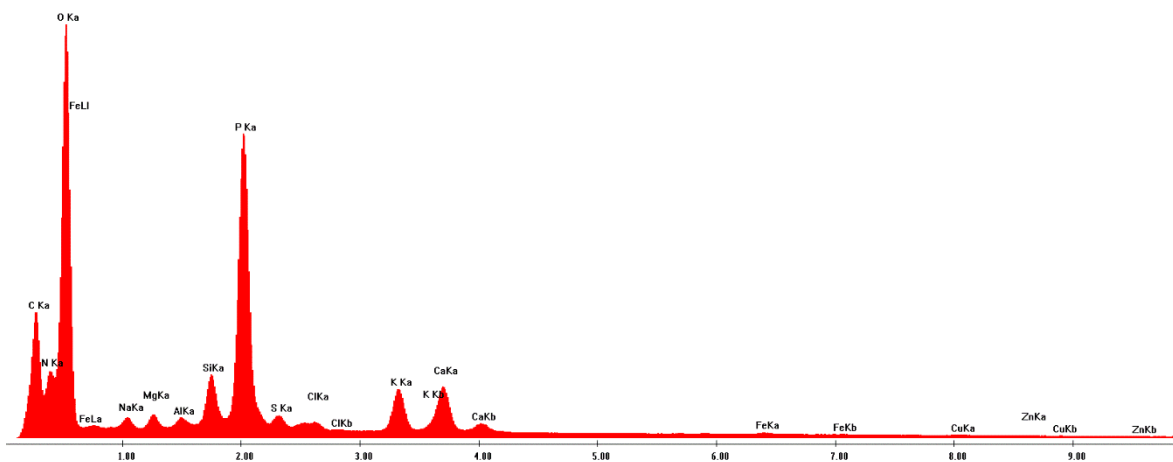


Figura 14. Espectro de los pellets P70R30 obtenido por MEB-EDS.

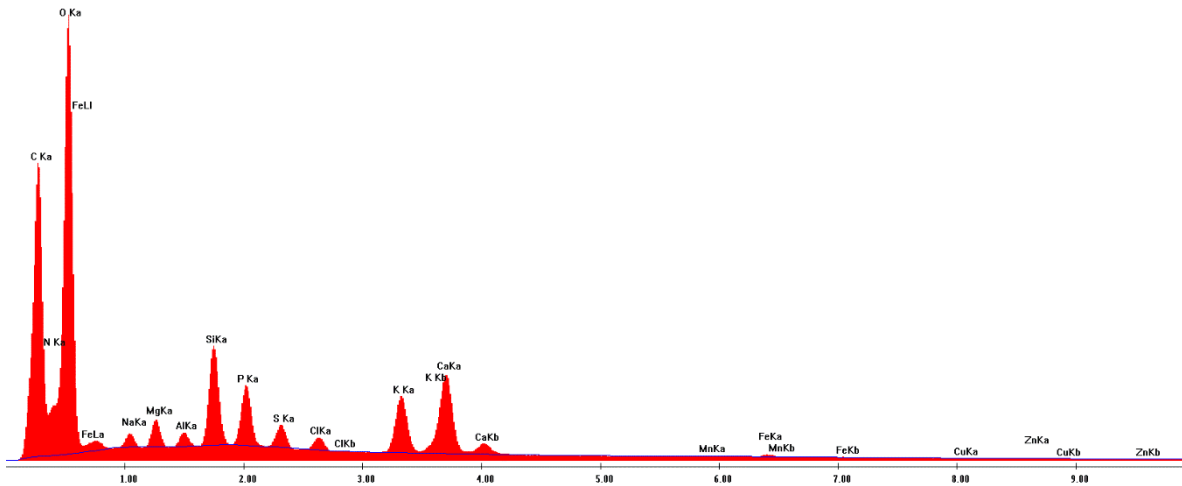


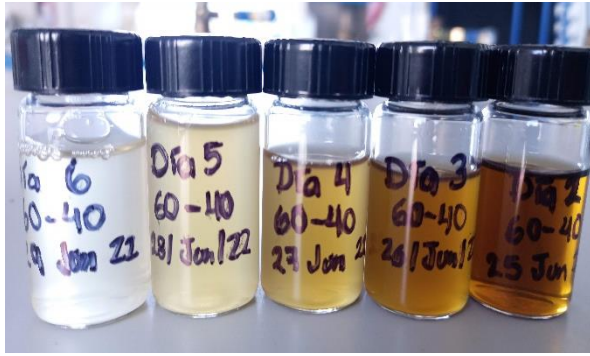
Figura 15. Espectro de los pellets P100R0 obtenido por MEB-EDS.

8.3.6 *Cinética de liberación de fósforo en los pellets organominerales*

Una vez habiendo caracterizado los pellets físicamente, se procedió a la caracterización química, a través de una cinética para la liberación del nutriente fósforo. Primero se evaluó la disponibilidad de fósforo total en todos los pellets organominerales (tratamientos) y posteriormente en el transcurso de 10 días cada 24 h. Se obtuvo un lixiviado cada 24 h (Figura 16a) para cada uno de los tratamientos y analizando posteriormente las muestras con el método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico a través de la absorbancia y su posterior lectura en el espectrofotómetro UV-Vis.

8.3.7 *Análisis colorimétrico del Ácido vanadomolibdofosfórico para la determinación de fósforo*

Previo a la lectura, se realizaron las lecturas de las soluciones estándar para la curva de calibración (Anexo 1) y posteriormente se realizaron lecturas de fósforo en los lixiviados. Estos fueron preparados de acuerdo al método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico (Figura 16b) y se corrieron las absorbancias en el espectrofotómetro.



a)



b)

Figura 16. Muestras obtenidas a partir de la lixiviación adicionando agua a los pellets obtenidos. a) Lixiviados obtenidos cada 24 h, b) Muestras preparadas mediante el método colorimétrico.

Una vez efectuadas las lecturas en el espectrofotómetro se realizaron los cálculos correspondientes, los resultados se expresaron en mg de P para 100 g de muestra (Tabla 12). Podemos observar que el tratamiento que mayor cantidad de fósforo total liberó fue P100R0, compuesto 100% de pollinaza, sin embargo, en la cinética de liberación dicho tratamiento obtuvo un comportamiento distinto, liberando menor cantidad de fósforo durante el primer día. En este sentido, Mazeica y colaboradores (2016), reportan que para complementar el contenido soluble de fósforo y aumentar sus cantidades totales, es necesario la incorporación de fertilizantes minerales fosfatados antes de la granulación, esto con la finalidad de evitar la eutrofización y el uso insostenible de fertilizantes en los cultivos agrícolas, reportando que la cantidad de Fosfato diamónico (DAP) agregado en la mezcla y trituración varió del 3 al 10% en peso, lo cual llevó a que el contenido de fósforo aumentara en un 6% cuando se agregaba 10% de fertilizante mineral (DAP) a la pollinaza. Lo anterior, nos permite confirmar que la adición de Fosfato monoamónico en este estudio, potenció la liberación lenta del fósforo, dato que podemos observar en los demás tratamientos. De acuerdo a los niveles más altos de fosforo total, de manera similar, Wang y colaboradores (2011), reportaron que en pellets granulados de pollinaza, la liberación y absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo muestran valores altos cuando son evaluados en cajas Petri, sin embargo, al aplicarlos en campo, estos niveles de nutrientes disminuyeron; dichas diferencias pueden deberse a diferentes condiciones, tales como el tipo de suelo, la forma en la que se producen los

lixiviados y que, durante los primeros 2 meses estos nutrientes tienden a quedar no disponibles.

Tabla 12. Cantidad de fósforo total y por cinética de liberación contenida en los diferentes tipos de pellets organominerales.

Cinética de liberación (mg P/100g)											
	P total	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
P100R0	179.75	56.43	50.11	16.17	15.48	13.44	10.12	7.24	8.83	17.19	48.68
P50R50	76.54	60.44	61.90	68.46	68.16	69.26	69.44	62.08	68.53	56.58	41.58
P60R40	83.61	67.11	72.50	90.67	83.17	57.78	21.84	23.07	8.87	3.046	4.72
P70R30	105.20	75.27	71.48	83.58	89.26	72.07	60.41	61.43	81.17	24.60	27.85

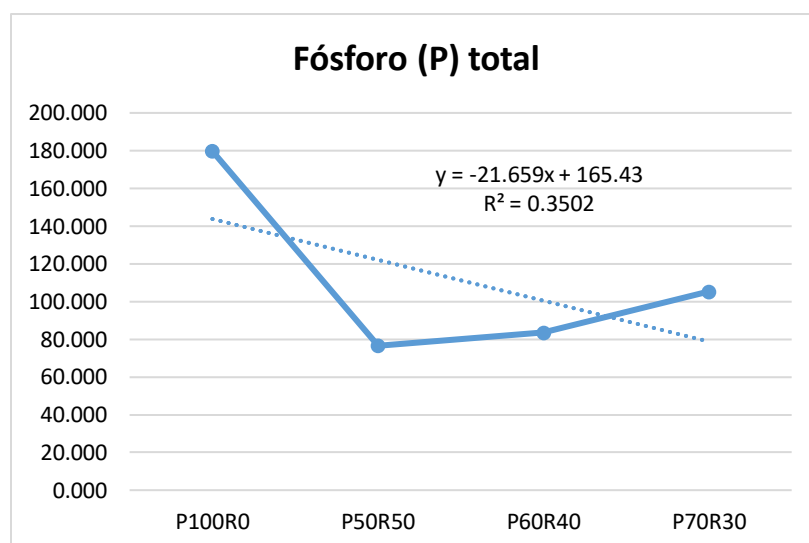


Gráfico 6. Fósforo total liberado para cada uno de los tratamientos.

Para fósforo total, se realizó la comparación de medias de Tukey por parejas, con un intervalo de confianza del 95% mostrando que el tratamiento que tiene diferencias significativas es P100R0 (Tabla 12), este tratamiento fue el que mayor cantidad de fósforo muestra según la técnica utilizada (Gráfico 6). Para el tratamiento P70R30, la cantidad de fósforo contenida en los pellets organominerales se asemeja a lo reportado por Nascimento y colaboradores (2020) y Mazeica y colaboradores (2016), con pellets organominerales compuestos por 65% de pollinaza y 35% de MAP y KCl.

En el caso de la cinética de liberación de fósforo, esta se llevó a cabo a lo largo de 10 días para cada uno de los tratamientos y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 12. El comportamiento de esta cinética de liberación a lo largo de todos los días de estudio se puede observar en el Grafico 7, el tratamiento P70R30 liberó mayor cantidad de fósforo durante los 10 días de evaluación, por lo cual se eligió como la mejor mezcla para la liberación de fósforo total. Estos datos, coinciden con lo reportado en Nascimento y colaboradores (2019) y Sá y colaboradores (2017), ambos estudios desarrollan pellets de gallinaza con fertilizante mineral MAP en proporciones constantes, entre 65% de gallinaza y 35% MAP (estas proporciones son similares a los pellets P70R30 realizados en este trabajo), mostrando pellets organominerales que tienen un mayor efecto de liberación constante en comparación a los fertilizantes minerales que liberan de inmediato el fósforo contenido.

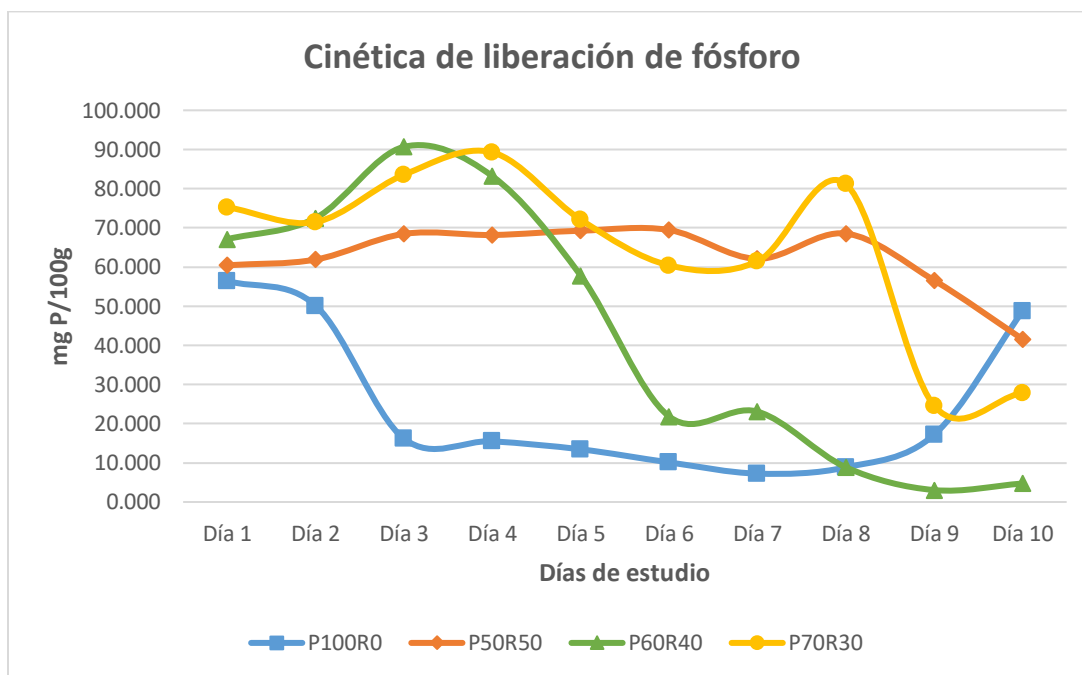


Gráfico 7. Cinética de liberación de fósforo a lo largo de 10 días, en cada uno de los tratamientos.

Reafirmando los resultados anteriores, se realizó una prueba de intervalos para la liberación de fósforo en cada uno de los tratamientos después de transcurridos los días de estudio, resultados que podemos observar en el Gráfico 8a y b. En ambos casos, el tratamiento que tuvo niveles más altos de liberación, así como mayor cantidad de fósforo liberada

transcurrido este tiempo fue P70R30, compuesto por 70% pollinaza y 30% de fosfato monoamónico; concordando con los estudios reportados por Nascimento y colaboradores (2020), donde la difusión de fósforo fue más eficiente en los pellets organominerales que en aquellos que contenían aditivos como Oxido de Magnesio (MgO), Bentonita y Kaolinita.

El análisis de medias de Tukey muestra que los tratamientos P70R30 y P50R50 no tienen diferencias significativas (Tabla 13), por lo que ambas mezclas de pellets se pueden usar en invernadero. En este sentido, Sá y colaboradores (2017), al aplicar pellets organominerales compuestos en macetas con maíz en proporciones similares a los del tratamiento P70R30 (60% pollinaza, 38% MAP y 2% silicato de potasio) reportaron que la disponibilidad de fósforo aumento de manera lineal desde la primera aplicación y hasta el final del estudio transcurridos 32 días, por lo que se evidencia un mejor desempeño en los pellets enriquecidos con materiales minerales (MAP), pues la alta solubilidad del MAP asociada al menor potencial de adsorción del suelo, permite potenciar la disponibilidad de fósforo en el cultivo desde el inicio.

Tabla 13. Análisis de medias de Tukey para la liberación de fósforo total transcurridos los 10 días de estudio, en cada uno de los tratamientos.

Tratamientos	Media P final
P70R30	129.34a
P50R50	127.11a
P60R40	86.52ab
P100R0	48.76b

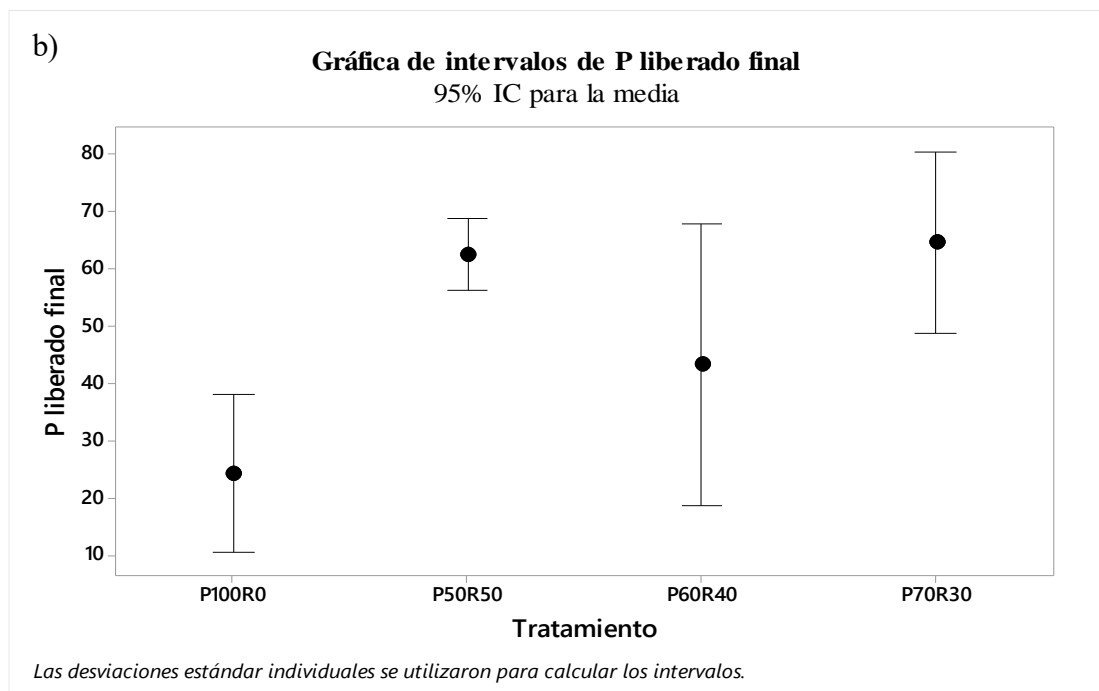
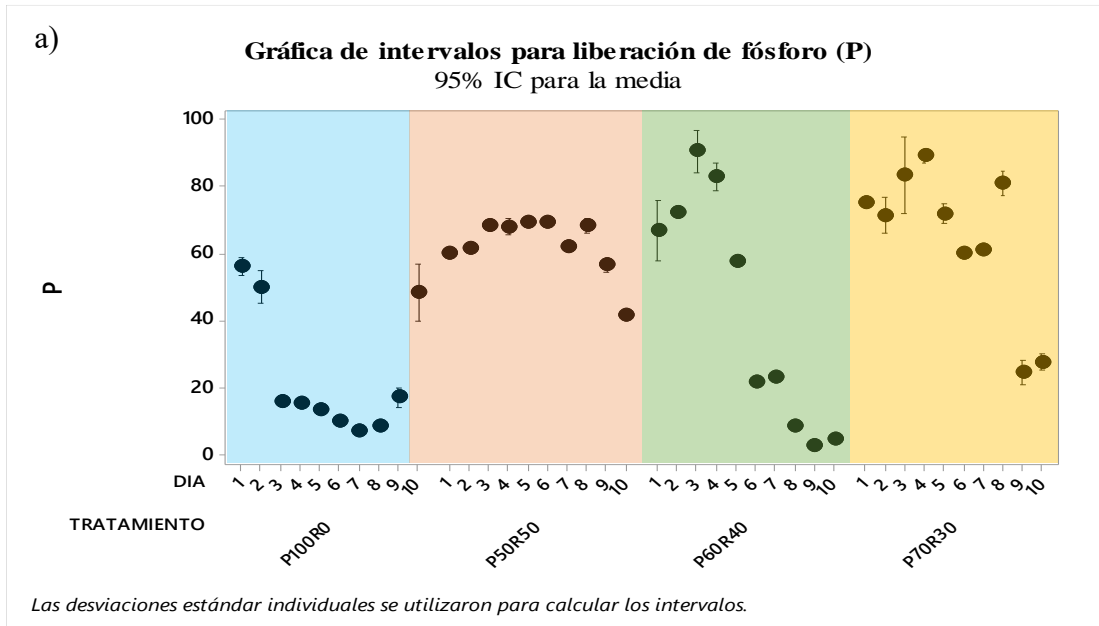


Gráfico 8. Gráficas de intervalos a) Fósforo liberado a lo largo de los días de estudio y b) Fósforo total liberado después de los 10 días de estudio.

8.4 Relación fósforo liberado contra pH

Con la finalidad de evaluar si existe alguna relación entre los niveles de pH con la cantidad de fósforo liberado, se realizaron mediciones de pH para cada uno de los lixiviados obtenidos en cada tratamiento, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Niveles de pH obtenidos en los distintos tratamientos, durante los 10 días de estudio.

Valores de pH en lixiviados										
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
P50R50	5.21	5.45	5.57	5.71	5.85	6.18	6.52	6.26	6.44	6.53
P60R40	5.25	5.64	6.22	7.07	6.94	7.03	7.09	6.49	7.03	6.48
P70R30	5.59	5.73	5.90	6.42	6.76	6.78	7.02	6.46	7.09	7.54
P100R0	7.05	6.60	7.51	7.60	8.13	8.29	8.62	7.68	8.03	7.82

Se realizó grafica de intervalos para evaluar y comparar los valores de pH promedio obtenidos en cada uno de los tratamientos a lo largo de los 10 días de estudio (Gráfico 9). El tratamiento P100R0 obtuvo los valores más altos de pH, en comparación con los demás tratamientos que obtuvieron un nivel de pH que oscila entre el 5 y 7. Estos datos coinciden con lo reportado por Keskinen y colaboradores (2020) y López-Mosquera y colaboradores (2011), con pellets granulados de pollinaza al 100% con niveles de pH entre 7.09 y 8.56; lo anterior es importante, pues el pH en la materia orgánica en este caso pollinaza, tiende a ser neutro por el efecto de la aireación y maduración de la masa en fermentación (Estrada Pareja, 2005).

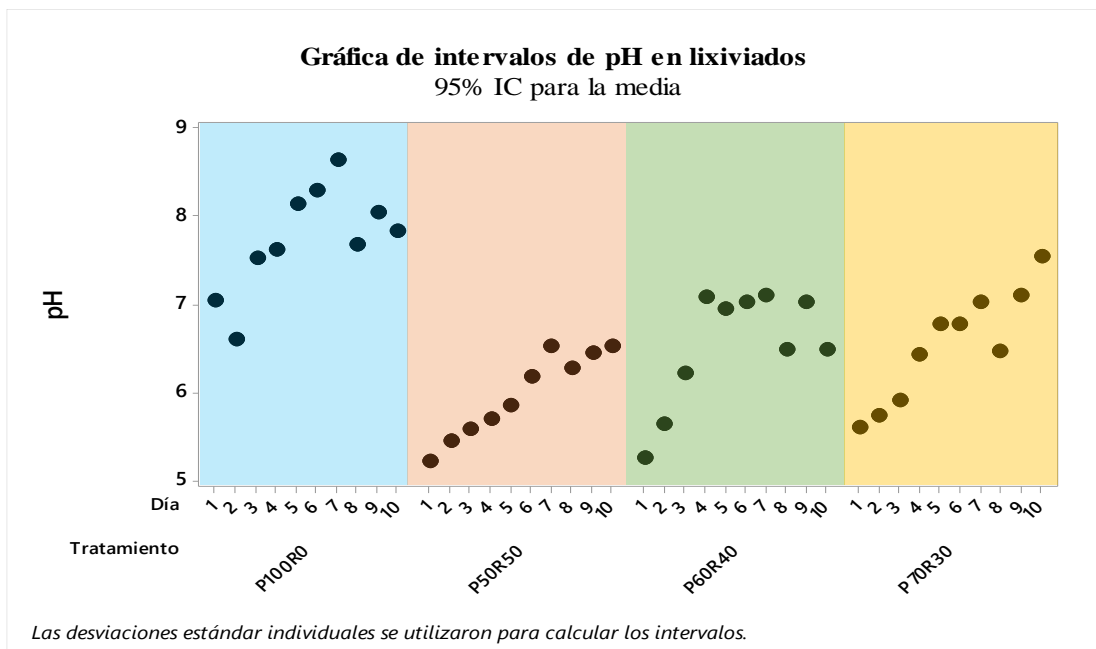


Gráfico 9. Grafica de intervalos para pH en cada uno de los tratamientos, en el transcurso de los 10 días de estudio.

Por otro lado, la cantidad de fósforo liberado contra los niveles de pH obtenidos en cada uno de los lixiviados (Gráfico 10 a-d), se observa que la cantidad de fósforo liberado fue menor para el tratamiento P100R0 con niveles de pH elevados, por encima de 7, en comparación con los demás tratamientos (P70R30, P60R40 y P50R50), que mantienen una liberación constante y van de un rango de pH entre 5 y 7, siendo P70R30 el que mayor cantidad de fósforo liberó comenzando con un pH más bajo (5.59), ya que un pH ligeramente ácido es idóneo para la liberación lenta del nutriente fósforo como se muestra en la (Gráfico 2). Sarvi y colaboradores (2020) reportan, que los pellets de pollinaza con valores de pH 5.7 son los mejores para una adecuada disponibilidad de fósforo en el suelo, después de realizado su estudio; además, encontraron que el pH del suelo cultivado no tuvo impacto con la aplicación de estos pellets (valores de pH 5.6). En este sentido, experimentos realizados por Subedi y colaboradores (2016), reportan que la liberación de fósforo de pellets organominerales con estiércol de aves fue del 6.7% en suelo arenoso moderadamente alcalino a un pH 8.3 y de 21% en suelo franco limoso ligeramente ácido a pH 6.1, que implica una mejor liberación a este pH. Es importante resaltar, que el análisis de fósforo en el suelo se basa en la extracción de una porción proveniente de la solución del suelo y una del fósforo adsorbido y precipitado;

por lo tanto, la cantidad de fósforo se interpreta como la capacidad que tiene el suelo para suministrar fósforo en un mediano y largo plazo. Por ello, es de relevancia conocer el pH que se relaciona con la disponibilidad de fósforo en el suelo (Intagri, 2018).

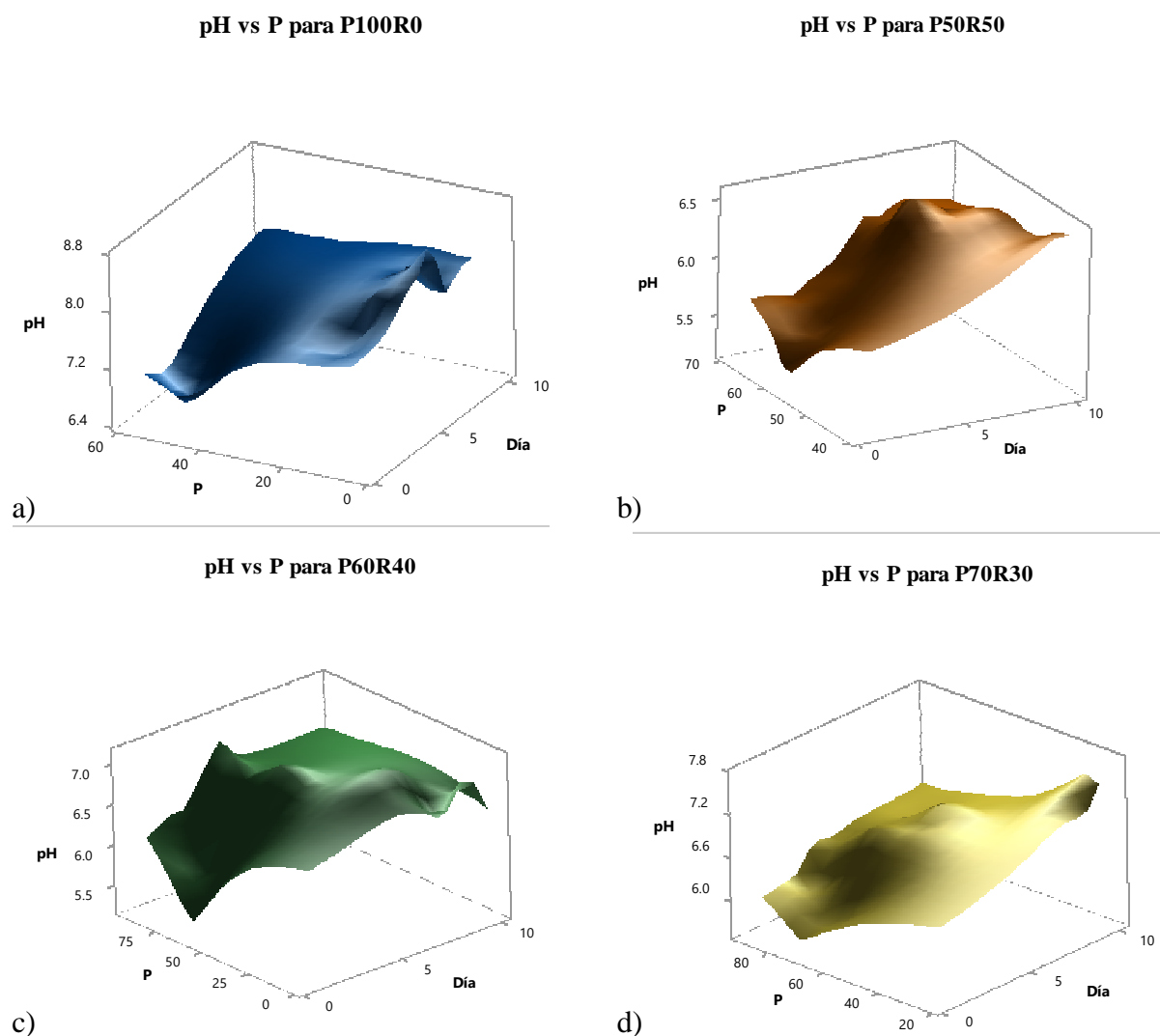


Gráfico 10. Gráfica de superficie para niveles de pH vs Fósforo liberado a lo largo de los 10 días de estudio, para cada uno de los tratamientos. a) P100R0, b) P50R50, c) P60R40 y d) P70R30.

8.5 Cultivo de jitomate para evaluación de los pellets organominerales

8.5.1 Germinación y establecimiento del cultivo

Se llevó a cabo la germinación y el establecimiento del cultivo de jitomate (Figura 17), este último se realizó el día 27 de septiembre del año 2022 y a partir de esta fecha se realizaron

las mediciones a partir de la segunda semana de establecimiento y de igual manera, en esa semana se comenzó con la fertilización foliar para el control positivo.



a)



b)

Figura 17. a) Plántula de jitomate y b) establecimiento del cultivo en bolsas negras para vivero.

8.5.2 *Desarrollo vegetativo*

Se cultivaron las plantas de jitomate durante 14 semanas, tomando las medidas correspondientes cada semana para cada una de las variables respuesta (altura de la planta, grosor del tallo y tamaño de la hoja), los frutos se contaron a partir del desarrollo del mismo y hasta el día de cosecha (semana 14). Posteriormente se analizaron los datos en Minitab 18, obteniendo los siguientes resultados del crecimiento de la planta.

Para ambos tratamientos analizados (P70R30 y P100R0), se realizó análisis de medias de Tukey con un 95% de confiabilidad, mostrando algunas diferencias significativas en cada una de las variables respuesta evaluadas (Tabla 15).

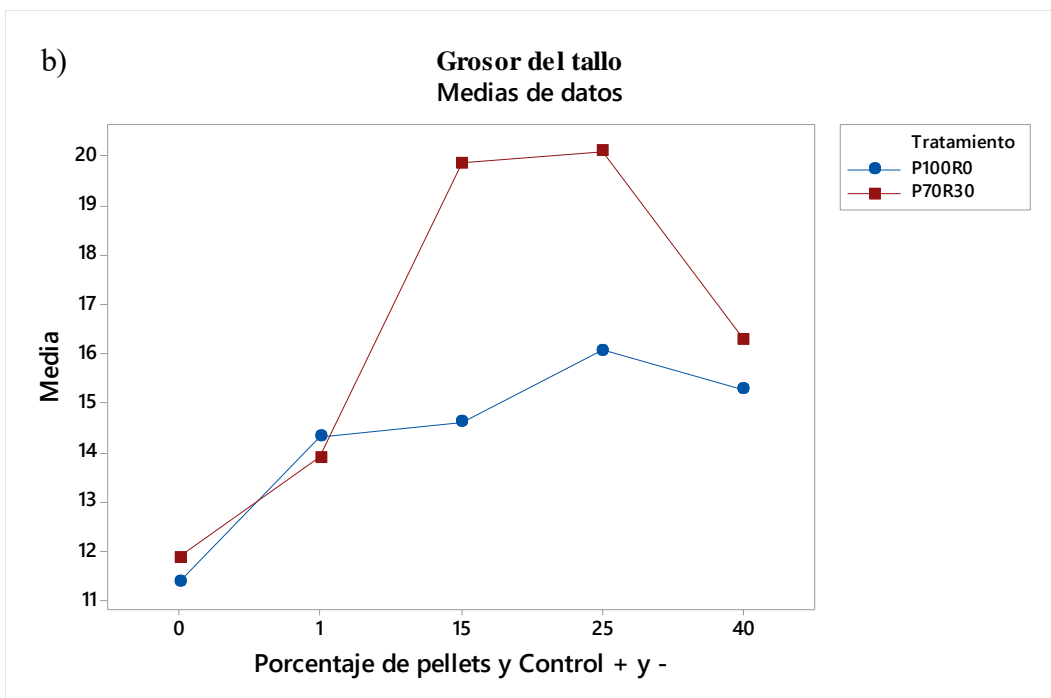
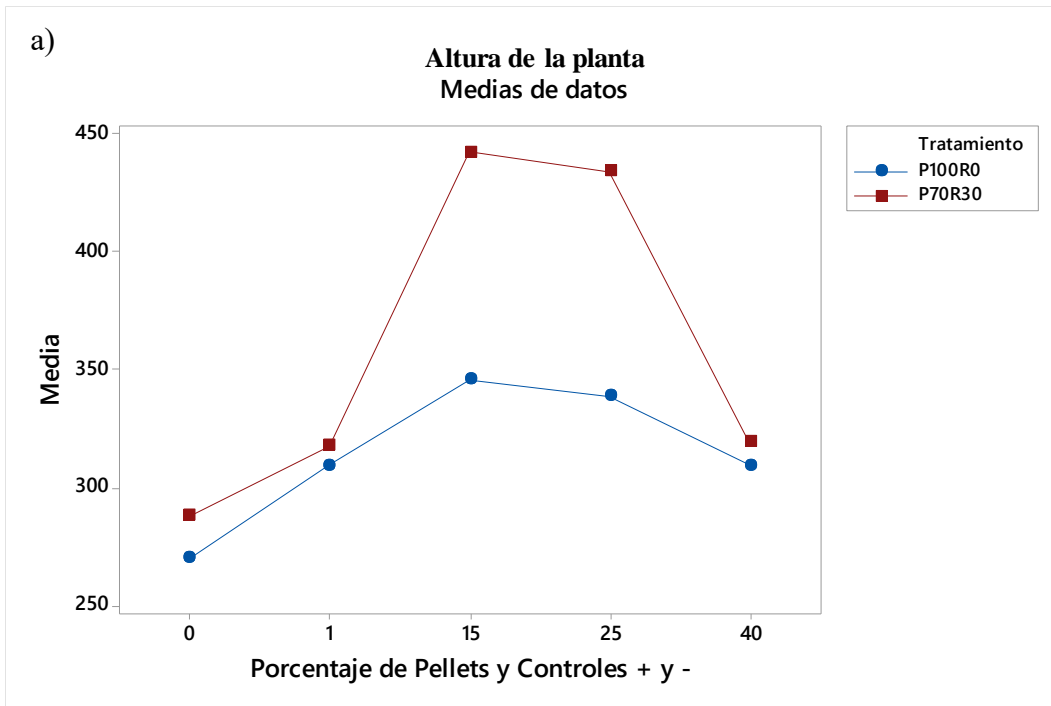
Tabla 15. Comparación de medias para variables de crecimiento de plantas de jitomate fertilizadas con pellets organominerales.

Tratamientos	Variables respuesta		
	Altura de la planta (cm)	Grosor del tallo (mm)	Tamaño de la hoja (mm)
P70R30 15%	691.0a	59.8a	108.0a
P70R30 25%	695.0a	59.6a	108.2a
P70R30 40%	607.0ab	54.8ab	102.6a
P100R0 15%	552.6abc	41.4cd	80.2b
P100R0 25%	619.8ab	50.2abc	99.2a
P100R0 40%	624.0ab	49.0bc	102.8a
Controles			
1 (control +)	502.0bc	44.2c	55.0c
0 (control -)	407.4c	33.4d	43.8c

Las medias con letra distinta son significativamente diferentes.

De igual manera, se realizó un análisis factorial, analizando las diferencias entre los tratamientos y entre los porcentajes de pellets añadidos, obteniendo el mayor crecimiento en el tratamiento fertilizado con pellets organominerales P70R30 para cada variable respuesta, así mismo, los porcentajes con mayor eficiencia y crecimiento fueron 15 y 25%, mostrando diferencias significativas contra el control positivo y negativo. En otras investigaciones realizadas previamente aplicando cultivo de jitomate, Demir y colaboradores (2010) y Olaniyi y Ajibola (2008) demuestran que, con la aplicación del estiércol de aves como fertilizante aumenta el rendimiento en las hojas y tallos, los mejores rendimientos se obtienen cuando se aplica el estiércol en conjunto con fertilizantes inorgánicos. Del mismo modo, Tewolde y colaboradores (2009) mencionan en su estudio realizado en algodón, que las plantas fertilizadas con desechos de origen avícola únicamente, presentan concentraciones más altas de macronutrientes que aquellas sin fertilizar, pero concentraciones más bajas en

aquellas fertilizadas con 50% desecho de aves y 50% de fertilizante Urea-Nitrato de amonio (UAN).



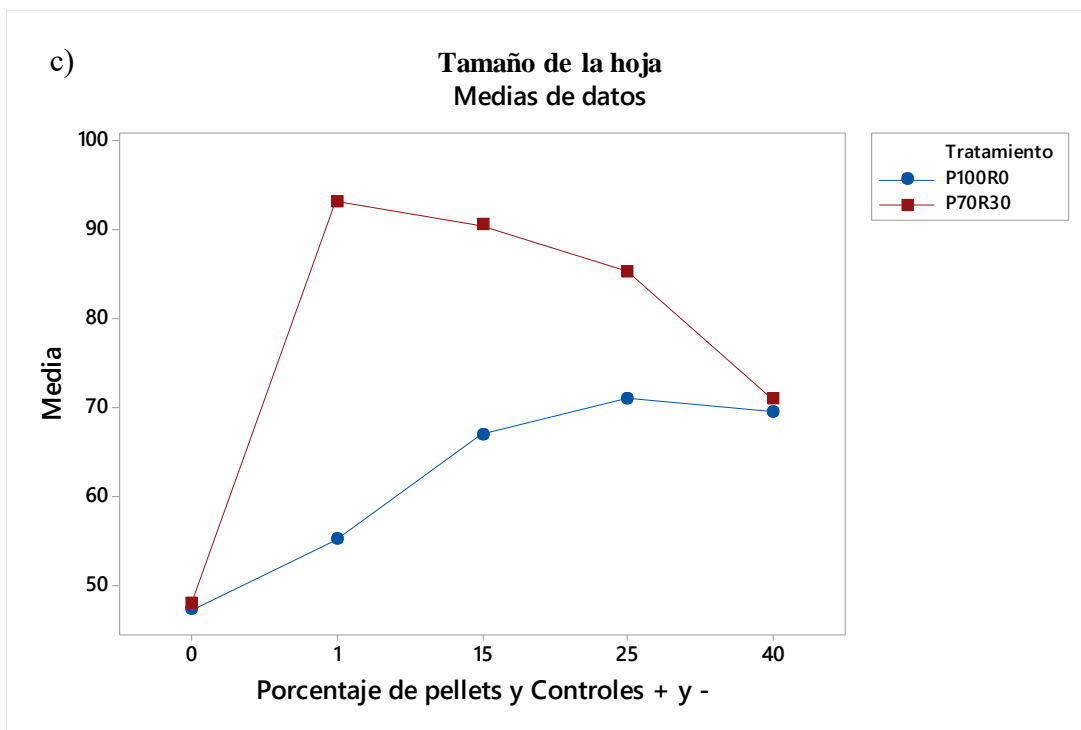


Gráfico 11. Análisis factorial para cada variable respuesta analizada en el crecimiento de la planta. a) Altura de la planta, b) Grosor del tallo y c) Tamaño de la hoja.

Se presenta el análisis de cada factor para cada una de las variables respuesta, obteniendo los siguientes resultados en cuanto a crecimiento.

Para la altura de la planta, el tratamiento P70R30 no tuvo diferencias significativas entre las macetas de 15 y 25% de pellets, sin embargo, el tratamiento con 15% obtuvo el valor más alto de crecimiento, a diferencia de las macetas con 40% de pellets organominerales, las cuales se igualaron con el control positivo. Para el tratamiento P100R0, no hubo diferencias significativas, más que en las macetas fertilizadas con el 15% de pellets, observando la mayor eficiencia en estas (Gráfico 11a). En este sentido, Liu y colaboradores (2019) reportan el desempeño de pellets de estiércol seco de aves en plantas de tomate cherry a diferentes porcentajes en macetas que van del 5 al 50%, reportaron que en general, las alturas de las plantas fertilizadas con pellets no difirieron del control fertilizado, sin embargo, entre las semanas 2 y 4, las plantas con porcentajes de 25 y 30% fueron más altas que el control. De la misma manera, señalan que todos sus tratamientos con pellets de estiércol de aves mejoraron la altura de las plantas y la tasa de crecimiento contra el control fertilizado, pero especialmente con los tratamientos con pellets a partir del 15 al 50%, donde obtuvieron los

mejores rendimientos, lo cual indica que el estiércol se estaba mineralizando y de esta forma las plantas podían utilizar los nutrientes del estiércol para crecer. Resultados similares fueron reportados por Valdez (2018), en un cultivo de pepino, donde los mayores rendimientos para la altura de la planta ocurrieron en pellets de pollinaza y adicionado fertilizante químico, alcanzando hasta los 3 metros de altura y las plantas de menor tamaño las de control químico. Para el grosor del tallo; en el tratamiento P70R30 las plantas que obtuvieron mayor rendimiento para esta variable fueron las fertilizadas con 15% y 25% de pellets organominerales, siendo las de 25% las que tuvieron mayor grosor de tallo, de igual manera 40% supero el control positivo. El tratamiento P100R0, no tuvo diferencias significativas con respecto a los demás porcentajes, sin embargo, aquellas fertilizadas con 40% y 25% obtuvieron los rendimientos más altos (Grafico 11b).

En cuanto al tamaño de la hoja; para el tratamiento P70R30, las macetas fertilizadas con 15% de pellets organominerales fueron similares al control positivo, obteniéndose los mayores tamaños con dicho porcentaje y los demás porcentajes no mostraron diferencias significativas; para P100R0, 25% y 40% fueron los porcentajes que tuvieron mayor rendimiento, siendo 25% el que tuvo mayor éxito para esta variable (Grafico 11c). Referente a esta variable, Olanivi y Ajibola (2008) reportan para su cultivo de jitomate que el crecimiento del tallo y las hojas estuvo marcadamente influenciado por el estiércol de aves granulado combinado con fertilizantes nitrogenados inorgánicos, obteniendo mejores tamaños de tallos y hojas comparados con el control.

Resultado de las comparaciones de las variables en los diferentes tratamientos, el tratamiento con mejor desempeño para todas las variables evaluadas fueron los pellets P70R30 al 25%, seguido del 15%. La diferencia para ambos tratamientos se aprecia de manera visual en cada una de las plantas de jitomate utilizadas para los distintos tratamientos (Figura 18 y 19).



Control negativo



Control positivo



P70R30 (15%)



P70R30 (25%)



P70R30 (40%)

Figura 18. Plantas de jitomate evaluadas con el tratamiento P70R30 con los 3 porcentajes de pellets y sus respectivos controles.

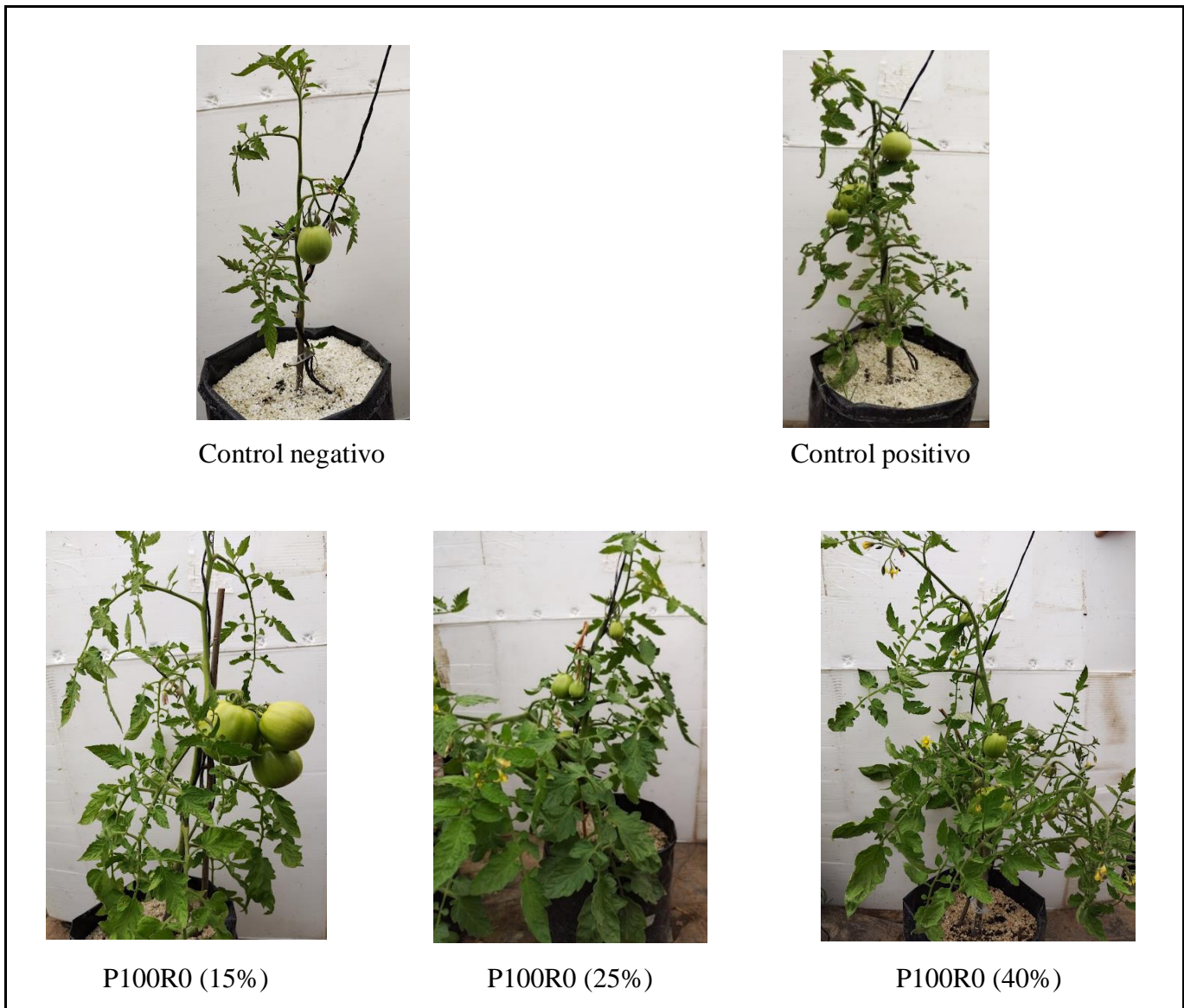


Figura 19. Plantas de jitomate variedad Floradade evaluadas con el tratamiento P100R0 con los 3 porcentajes de pellets y sus respectivos controles.

8.5.3 Poda y tutorado

Después de la primera etapa de desarrollo del cultivo, se realizó la poda y el tutorado para permitir la etapa de floración y posterior desarrollo del fruto (Figura 20). Cabe resaltar que esto es necesario para poder conducir las plantas a un solo tallo y se debe realizar eliminando los tallos o brotes más pequeños conforme van apareciendo en el tallo principal (Pérez y Castro, 2014).



a)



b)

Figura 20. a) Tutorado en plantas de jitomate variedad Floradade utilizadas, b) Colocación de anillo para soporte de la planta.

8.5.4 *Análisis de contenido de nutrientes en tejido vegetal*

Con la finalidad de conocer la cantidad de nutrientes disponibles en las plantas en la semana 10, una vez ocurriendo la etapa de floración, se analizó el contenido de nutrientes en peciolo para nitratos (NO_3^-), Potasio (K^+) y Calcio (Ca^{2+}) con medidores LAqua twin de Horiba, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 16. Es importante mencionar, que en la medida que la planta disponga de las condiciones ideales para su crecimiento vegetativo como son luz, agua, temperatura y nutrientes, existirá un mayor crecimiento de raíces que tendrán como resultado una mayor y mejor floración y en consecuencia una buena fructificación (Gaspar, 2014).

Cabe resaltar que el análisis se llevó a cabo en savia obtenida a través del peciolo, el cual corresponde al jugo que es extraído de los tejidos que provienen tanto del xilema como del floema de la planta (Cadahía, 2008) y es así, que este tipo de análisis permite identificar desde las primeras etapas del desarrollo del cultivo si existieran alteraciones nutrimentales que afecten su rendimiento.

Tabla 16. Contenido de nutrientes en las plantas de jitomate variedad Floradade, en la semana 10.

Porcentaje + Control	NO₃⁻	K⁺	Ca²⁺
P70R30 (ppm)			
15%	733	2333	131
25%	657	1997	54
40%	4667	3533	53
P100R0 (ppm)			
15%	520	3267	37
25%	440	3733	34
40%	403	3867	860
Controles (ppm)			
control +	1033	3967	62
control -	820	2670	87

La cantidad de nutrientes obtenidos en las plantas, muestra niveles de nitratos (NO₃⁻) en savia que coinciden con lo reportado por Llanderal (2014) para el tratamiento P70R30 con valores entre 810 y 1,633 ppm en cultivo de jitomate, datos que son similares para aquellas plantas fertilizadas con 15% y 25% de pellets, pero que se encuentran por debajo de los valores obtenidos para las plantas con 40% de pellets; sin embargo, para estas plantas si son coincidentes con lo reportado por Llanderal et al., (2018) con datos entre 1,383 y 4,488 ppm en plantas de jitomate. Cabe resaltar que el tratamiento P100R0 obtuvo valores que se encuentran por debajo de los reportados por dicho autor.

Para potasio (K⁺), los datos de savia obtenidos coinciden a los reportados por Esteves et al., (2021) quienes reportan en un cultivo de jitomate valores que oscilan entre 3,500 a 4,533 ppm y concuerdan con los obtenidos para los tratamientos P70R30, P100R0 y el control fertilizado. Por último, la cantidad de calcio (Ca²⁺) obtenida muestra que los valores se encuentran por debajo de lo reportado por Llanderal et al., (2018) y Esteves et al., (2021); pues este dato oscila entre 524 y 555 ppm, donde únicamente el tratamiento P100R0 en plantas con 40% de pellets supera lo reportado por este autor, este comportamiento puede estar relacionado con la baja movilidad del calcio en las plantas.

Es importante mencionar que la distribución de los nutrientes en savia no es homogénea y está relacionada con el punto donde se realice el muestreo, además de que los requerimientos nutricionales están en función del estado fenológico del cultivo (Cadahía, 2008). Por ello, se

tomó como un indicador de la cantidad de nutrientes en el cultivo de jitomate y esto, nos sugiere la necesidad una segunda aplicación de pellets en las plantas después de la primera etapa de producción del fruto, pues cabe resaltar que los pellets organominerales en este estudio únicamente se aplicaron una vez.

8.5.5 Cosecha

La cosecha se realizó en la semana 14, retirando la cantidad total de frutos por maceta y realizando posteriormente mediciones para cada variable respuesta evaluada en el fruto (cantidad de frutos, peso, diámetro y longitud); se realizó análisis de medias de Tukey con un 95% de confiabilidad, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de medias de Tukey para el rendimiento en fruto de jitomate.

Tratamientos	Variables respuesta			
	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso total (g)	Cantidad de frutos total
P70R30 15%	66.62ab	119.86ab	400.80a	9.8ab
P70R30 25%	83.50a	150.96a	436.20a	12.8a
P70R30 40%	34.60bc	64.03bc	208.66ab	3.0c
P100R0 15%	59.60ab	106.62ab	408.75a	5.2bc
P100R0 25%	38.07bc	65.55bc	222.50ab	7.4abc
P100R0 40%	22.13bc	37.40bc	109.66ab	4.0bc
Controles				
1 (control +)	31.70bc	59.28bc	187.00ab	5.0bc
0 (control -)	10.06c	18.30c	39.00b	1.6d

Las medias con letra distinta son significativamente diferentes.

Para la cantidad de frutos se obtuvo para el tratamiento P70R30 la mayor cantidad en las macetas fertilizadas con 25% de pellets organominerales, superando al control positivo por más de la mitad de los frutos, seguido de las macetas con 15% de pellets. El tratamiento

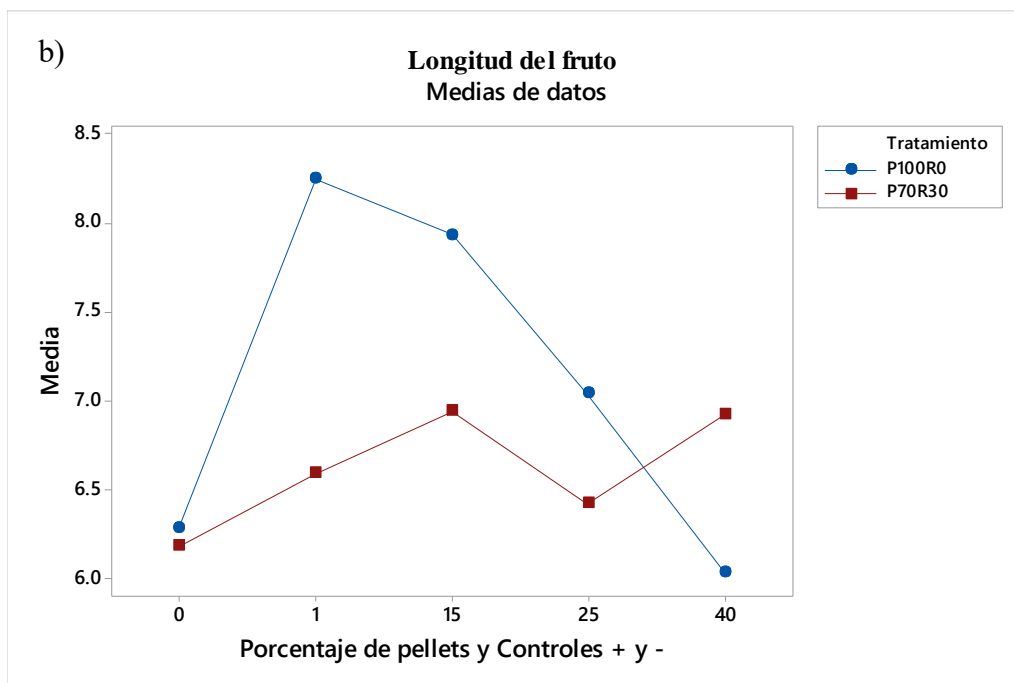
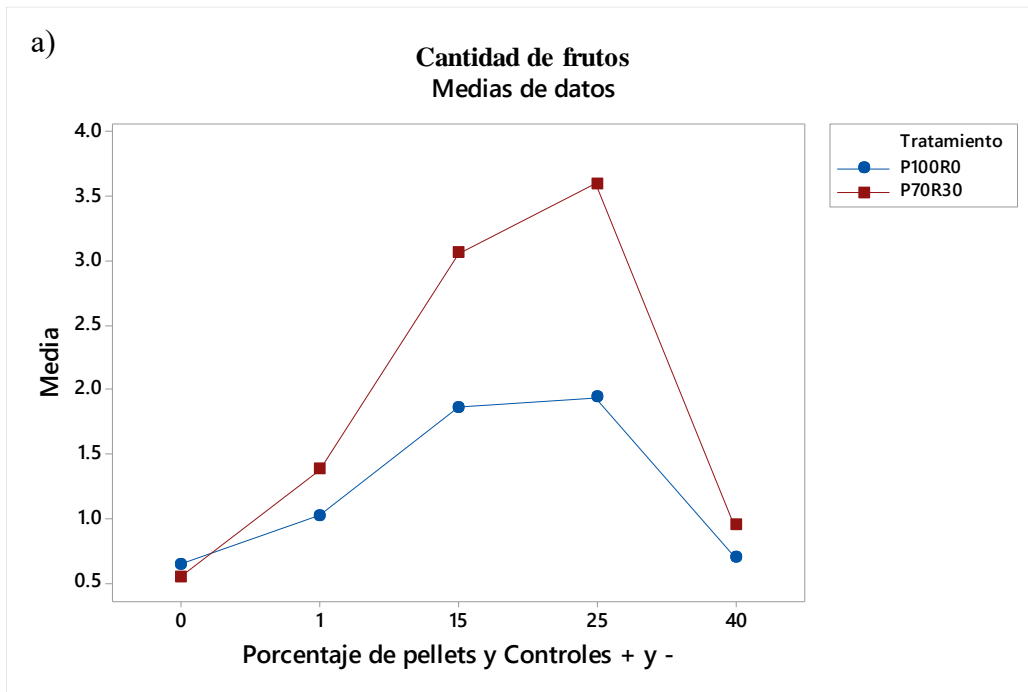
P100R0 tuvo la mayor cantidad de frutos en las macetas de 25%, existiendo muy pocas diferencias con las de 15% de pellets (Grafico 12a).

De acuerdo a Olanivi y Ajibola (2008) y Akanbi y colaboradores (2005), el mayor crecimiento de las plantas dado por número total de frutos mejoró significativamente en cultivos de jitomate con las aplicaciones de pellets de pollinaza combinados con fertilizantes minerales nitrogenados (urea) en porcentajes de 15, 30 y 40%, siendo los de 30% los de mayor éxito.

Cabe resaltar, que entre tratamientos hubo pocas diferencias significativas en cuanto a rendimiento del fruto, obteniendo para ambos tratamientos rendimientos similares, sin embargo, también se realizó análisis factorial en ambos tratamientos y se obtuvo para el tratamiento P70R30, en cuanto a longitud; que el mejor desempeño ocurrió en las macetas fertilizadas con 15% de pellets organominerales, superando al control positivo. Sin embargo, para el diámetro del fruto; las macetas con 25% de pellets tuvieron los valores mayores, seguido del 15%. En cuanto a peso; los valores mayores se obtuvieron en las macetas con 15% de pellets; para todas las variables de este tratamiento y supero al control positivo (Grafico 12b y c). En cuanto al tratamiento P100R0, para las 3 variables evaluadas las macetas fertilizadas con 15% y 25% de pellets organominerales tuvieron el mayor rendimiento, superando el control positivo para longitud y diámetro, sin embargo, para peso las macetas con 40% se quedaron por debajo del control positivo (Grafico 12d). Es así, que para ambos tratamientos los mayores crecimientos en la planta y el fruto se presentaron en las plantas fertilizadas con 15% y 25% de pellets organominerales; resultado que es respaldado por Liu y colaboradores (2019), donde determinaron que la adición de pellets organominerales hechos de gallinaza seca en sus macetas de 15% y 30% tuvieron el mayor éxito en los frutos de jitomate, haciendo estas dosis las más adecuadas para aplicar a los cultivos. Resultados similares fueron observados por Belda y colaboradores (2013) en plantas ornamentales, mostrando que mezclas de pellets organominerales en un 25% producían plantas de buena calidad.

En cuanto a rendimiento del fruto Valdez (2018) y Sarvi y colaboradores (2020), resaltan que los pellets organominerales que aplicaron a base de pollinaza, se igualaron al fertilizante químico, lo que indica que este tipo de fertilizantes pueden ser utilizados sin afectar el

rendimiento en los cultivos, pues pueden aportar la cantidad necesaria de nutrientes para desarrollar las plantas de manera eficiente, aplicándose al menos en dos dosis, una al inicio del desarrollo del cultivo y otra durante la floración para potenciar y reforzar el crecimiento de los frutos (Wang et al., 2011).



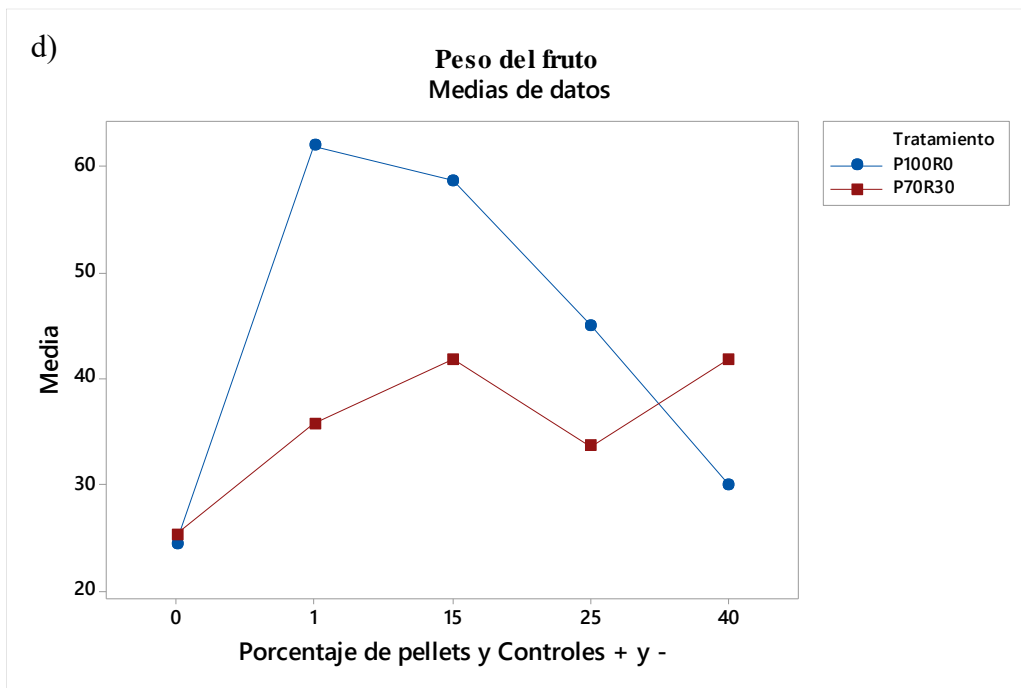
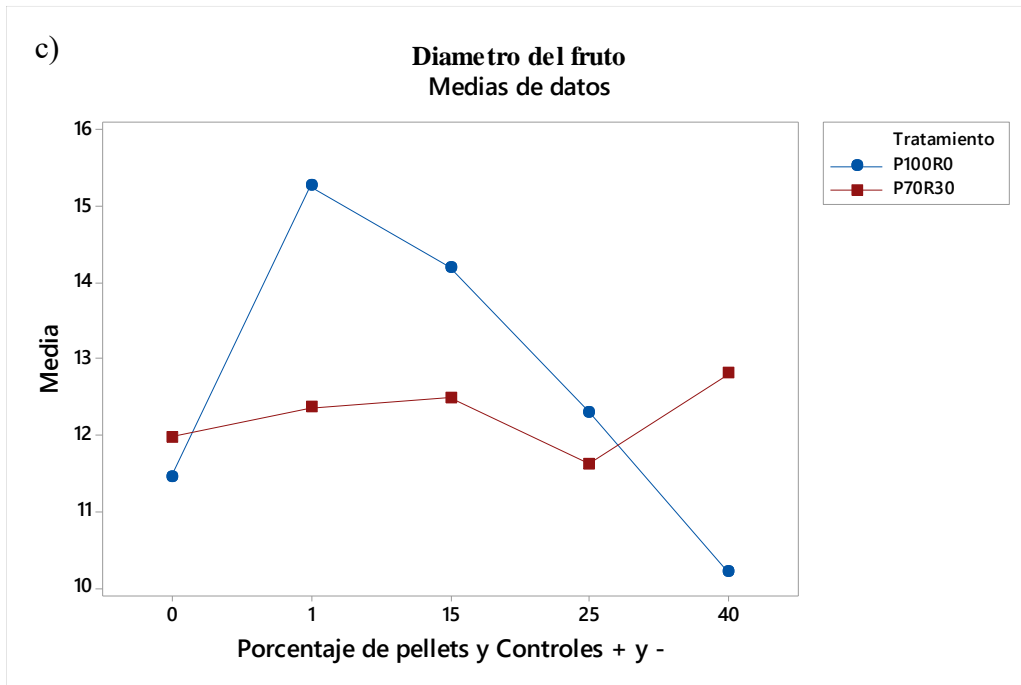


Gráfico 12. Análisis factorial para rendimiento en fruto de jitomate, para los tratamientos. Pellets P70R30 al 15, 25 y 40% y P100R0 al 15, 25 y 40%, 0= control (-) y 1= control (+). a) Cantidad de frutos, b) Longitud, c) Diámetro y d) Peso.

A continuación, en las Figura 21 y 22 se observan las diferencias en los frutos para los diferentes tratamientos.

Tratamiento

P70R30 15%



P70R30 25%



P70R30 40%



Control positivo (+)



Control negativo (-)



Figura 21. Frutos obtenidos para el tratamiento P70R30.

Tratamiento

P100R0 15%



P100R0 25%



P100R0 40%



Control positivo (+)



Control negativo (-)



Figura 22. Frutos obtenidos para el tratamiento P100R0.

9. CONCLUSIONES

Los pellets de pollinaza y mezclas pollinaza-MAP requieren del 26 al 7% de agua para su fabricación, entre mayor cantidad de materia orgánica mayor cantidad de agua absorbe la mezcla, estos porcentajes coinciden con los reportados en la literatura.

Se determinaron las propiedades físicas de los pellets obtenidos P100R0, P70R30, P60R40 y P50R50 tales como Capacidad de retención de humedad, durabilidad y dureza. Destacan los pellets P100R0 que mostraron tener los mayores índices en estas mismas características.

El tratamiento P100R0, mostró las mejores características físicas, sin embargo, en la cinética de liberación de fósforo liberó menor cantidad que el resto de los tratamientos hasta el día 9 que se libera una concentración de fósforo alta con respecto a los demás tratamientos.

Los pellets P70R30 mostraron las características físicas y químicas adecuadas para su aplicación, la durabilidad, la dureza, el pH y la CE los hace adecuados para un buen manejo, transporte y aplicación. El pH de estos pellets fue de 5.32 que es adecuado ya que permite una mayor liberación del fósforo; de acuerdo al estudio cinético después de transcurridos los 10 días de estudio.

En la evaluación del desempeño del crecimiento de las plantas de jitomate, los pellets P70R30 obtuvieron los mejores resultados y eficiencia, siendo las macetas con 15% y 25% de pellets organominerales, las que mostraron mejores resultados en todas las variables evaluadas, superando el control positivo.

En el rendimiento del fruto de jitomate, ambos tipos de pellets, P70R30 y P100R0 tuvieron mayor rendimiento para las variables evaluadas superando el control positivo con los porcentajes 15 y 25%, sin embargo, los pellets P70R30 tuvieron mayor efecto positivo.

El análisis del contenido de nutrientes en savia de las plantas de jitomate, sugiere la aplicación de al menos 2 dosis de pellets organominerales durante todo el periodo vegetativo y de floración, para garantizar de esta manera un contenido de nutrientes adecuados para las plantas y el desarrollo de los frutos.

Los resultados obtenidos muestran que los pellets organominerales son una buena alternativa a la sustitución de la fertilización química en cultivos que tienen altas demandas constantes de macro y micronutrientes, teniendo mayor potencial aquellos que son complementados con materia inorgánica.

10. REFERENCIAS

1. Abaigar A, Cordovil L, Aguilar M, (2010). Gestión de estiércol de gallinas ponedoras. Jornadas Profesionales de Avicultura 2010. www.itgganadero.com
2. Abreu Cruz, E., Araujo, C. E., Rodríguez, J. S., Valdivia, A. L., Fuentes, A. L., Pérez, H.Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en capsicum annum. Centro agrícola. Revista centro agrícola. Universidad central Marta Abreu de las Villas. Pp 53.
3. Akanbi WB, Akande MO, Adediran JA, (2005). Suitability of composted maize straw and mineral N fertilizer for tomato production. *Journal of Vegetable Science* 11(1): 57-65.
4. Allende, C. M., Martínez, C. J. P., Salinas, P. L., Corradini, S. F., Rodríguez, A. F., Sepúlveda, R. P., Olivares, P. N., Abarca, R. P., Riquelme, S. J., Guzmán, L. A., Antúnez, B. A. y Felmer, E. S. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA – INDAP, No. 377, Santiago, Chile. 115p.
5. Antillón Rionda, C. A., Tapia López E. E. y Viguera Moreno R. (2011). Sanidad Avícola Integral y de Diagnósticos Clínicos Veterinarios. XXXVI Convención Anual ANECA. México.
6. Araya, M., Tapia, A.; Mata, R.; Serrano, E. y Acuña, O. (2014). Efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de poblaciones de microorganismos, nemátodos fitoparásitos del suelo y salud del sistema radical en el cultivo de banano (*Musa AAA*) sembrado en domos. *Revista Agronomía Costarricense*, 38(2): 93-105. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v38n02_093.pdf
7. Arai, Y. & Sparks, D.L. (2007). Phosphate reaction dynamics in soils and soil components: a multiscale approach. *Adv Agron*, 94,135-179.
8. Asociación Mexicana de Constructores de Invernadero (AMCI, 2011). Panorama mexicano: revisión de datos de los invernaderos en México. Montecito 38, D. F. México. www.amci.org.mx
9. Atuesta Boada, L. E. y Sierra Vargas, F. E. (2015). Caracterización físico-química de pellets producidos a partir de mezclas 50/50 carbón bituminoso/madera residual. *Informador Técnico*. Colombia. 79(1). Pp. 18-25.

10. Belda, RM; Mendoza-Hernández, D.; Fornes, F. 2013. Compost rico en nutrientes versus vermicompost pobre en nutrientes como medio de crecimiento para la producción de plantas ornamentales. *J. Plant Nutr. Ciencia del suelo*. 176, 827–835.
11. Boafo, D.K.; Kraisornpornson, B.; Panphon, S.; Owusu, B.E. y Amaniampong, P.N. (2020). Effect of organic soil amendments on soil quality in oil palm production. *Applied Soil Ecology*, 147: 103358. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.008>
12. Benites, V.M., Correa, J.C., Menezes, J.F.S., Polidoro, (2010). Production of granulated organomineral fertilizer using pig slurry and poultry litter in brazil. XXIX Reunión brasileña de fertilidad del suelo y nutrición de plantas. Espírito Santo, Brasil. 8 p.
13. Beltrán, M. E. (2013). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica*, 101-113
14. Bolan, N.S., Szogi, A.A., Chuasavathi, T., Seshadri, B., Rothrock, Jr., M.J., Panneerselvam, P. (2010). Uses and management of poultry litter. *Worlds Poult. Sci. J.* 66, 673–698. <http://dx.doi.org/10.1017/S0043933910000656>.
15. Cadahía, C. (2008). Fertirrigación. La savia como índice de fertirrigación en cultivos agroenergéticos, hortícolas, frutales y ornamentales. Madrid, España: Mundi-Prensa.
16. Campos, M., Antonangelo, J.A., Alleoni, L.R.F., (2016). Phosphorus sorption index in humid tropical soils. *Soil Tillage Res.* 156, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.020>
17. Carrillo Paniagua, T. (2015). Caracterización de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos forestales. Tesis de Licenciatura. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Jose, Costa Rica.
18. Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarin-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R. y Juarez-Lopez, P. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.*, 7 (3): 289 – 295.
19. Cosmos (2018). Generalidades de las Peletizadoras. Obtenido de <https://www.cosmos.com.mx/wiki/peletizadoras-48jg.html>
20. Demiraj, E.; Libutti, A.; Mallezi, J.; Rroço, E.; Brahushi, F.; Monteleone, M. y Sulçe, S. (2018). Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil

- of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1136):93- 102. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1136>
21. Demir, K., Sahin, O., Kadioglu, Y. K., Pilbeam, D. J. y Gunes, A. (2010). Essential and non-essential element composition of tomato plants fertilized with poultry manure. *Scientia Horticulturae* 127 (2010) 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.009>
 22. Escobar, H. y Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Fundación. Universidad de Bogotá: Jorge Tadeo Lozano. 180 p.
 23. Esteves, E., Locatelli, G., Bou, N. A. y Ferrarezi, R. S. (2021). Sap Analysis: A powerful tool for monitoring plant nutrition. *Horticulturae*. <http://doi.org/10.3390/horticulturae7110426>
 24. Estrada Pareja, Mónica María (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 43-48. ISSN: 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520108>
 25. Ferreira, D.A.; Dias, N.; Ferreira, A.K.; Vasconcelos, C.; Sousa-Junior, F.; Porto, V.C.; Fernandes, C. y Vásquez, M.A. (2018). Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios, vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2): 464-474. <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7902>
 26. Flotats R., J. y F. Solé M. (2008). 2. Situación actual en el tratamiento de los residuos orgánicos: Aspectos científicos, económicos y legislativos. pp. 44-73. In: J. Moreno C. y R. Moral H. (eds.). *Compostaje*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
 27. Floréz, D. A., Ramírez, W. A. y Varela, L. B. (2010). Diseño conceptual de una maquina peletizadora de alimentos para aves de corral. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
 28. Garzón, G. C. y Mendes, O. L. (2021). Prototipo de una maquina peletizadora para la fabricación de balanceado utilizado en la alimentación de conejos. Latacunga, Ecuador.
 29. Gaspar, L. (2014). Nutrición del cultivo de tomate para industria. Agro estrategias consultoras. Rosario, Argentina. 10p.
 30. González Ulibarry, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Asesoría técnica Parlamentaria. Biblioteca del congreso nacional de Chile/BCN. N°SUP: 118.959.

31. Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K., (2013). Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Glob. Chang. Biol.* 19,1456–1469. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12137>.
32. Hornedo, R. M., Delgado, A. M. M., Garcia, M. A., Gonzalez, G. M. I., Martin, S. J. V. (2017). Efecto del residual de estiércol avícola o residual de fertilizante mineral en el rendimiento y la calidad de camelina (*Camelina sativa*). *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 8 (4): 353-363. Madrid, España.
33. Hyland, Ch., Ketterings, Q., Dewing, D., Stockin, K., Czymmek, K., Albrecht, G. & Geohring, L. (2005). *Phosphorus Basics – The Phosphorus Cycle*. Ithaca, Nueva York, Estados Unidos: Department of Crop and Soil Sciences.
34. IDAE. (26 de abril de 2021). Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Obtenido de Área Tecnológica: Biomasa y Residuos: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Biomasa_11012012_global_v2_09570f12.pdf
35. Intagri (2020). Curso Intagri sobre producción de tomate en invernadero. <http://bit.ly/2RXn2JN>.
36. Kingman, H. (2020). *Diferencias entre matriz plana y anular*. Obtenido de <http://www.plantaspeletizadoras.com/diferencias-matriz-plana-anular.html>
37. Lal, R. (2021). Soil organic matter and wáter retention. Carbon Management and sequestration center. Columbus, Ohio. USA. <http://doi.org/10.1002/agj2.20282>.
38. Langhans, C., Beusen, A.H.W., Mogollón, J.M. *et al.* Phosphorus for Sustainable Development Goal target of doubling smallholder productivity (2022). *Nat Sustain* 5, 57–63 <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00794-4>
39. Llanderal, A. (2014). Concentración de nutrientes en savia en cultivo de tomate bajo invernadero. Departamento de agronomía. Universidad de Almería. España. 17p.
40. López-Mosquera, M.E, Carral, E., López-Fabal, A. Rodríguez-López, M.T. Bande, M.J., Cabaleiro, F., Carballo, F., García-Fernández, F., Gómez-Sánchez, R., Ferreira, M.P., Matos, M. y Sainz, M. J. (2011). Potencial fertilizante del estiércol deshidratado y granulado de pollo en cultivos hortícolas y forrajeros. IBADER. Universidad de Santiago de Compostela. Campus de Lugo, 27002 Lugo. Pp. 119-129.

41. López, M.J.D., Díaz, E. A., Martínez, R. E. y Valdez, C. R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*. 19(4):293-299. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319401.pdf>
42. Llanderal, A., García-Caparrós, P., Contreras, J. I., Segura, M. L. y Lao, M. T. (2018). Evaluación de la Variabilidad de Nutrientes en Savia de Diferentes Muestras de Pecíolo en Plantas de tomate, *Comunicaciones en Ciencias del Suelo y Análisis de Plantas*, 49:6, 745-750, Doi: 10.1080/00103624.2018.1435797
43. Cerrato, M. E., H. A. Leblanc y C. Kameko. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Trop.* 161-175.
44. Cruse, R. (2012). Agriculture: Is climate change a serious issue *Agrociencia* 16: 9-19.
45. De Battista, J. J. y Arias, N. (2016). Utilización de la cama de pollo como fertilizante en cultivos anuales, en suelos vertisoles de entre Ríos: Aportes para su uso y manejo. Primera Edición. Ediciones INTA. Unidad Editora: Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay – Centro Regional Entre Ríos. ISBN 978-987-521-772-0. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta - cama de pollo en entre rios 0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_cama_de_pollo_en_entre_rios_0.pdf)
46. López-Verdugo, L.E., Osuna-Flores, I. (2019). Elaboración de pellets como biocombustible sólido, para el mejoramiento ambiental y económico en el Norte de Sinaloa, México. Unidad de Posgrado de Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales.
47. Gérard, F., (2016). Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils. A myth revisited. *Geoderma* 262, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.036>
48. Gerke, J. (2015). The acquisition of phosphate by higher plants: effect of carboxylate release by the roots. A critical review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 178, 351–364.
49. INTAGRI. (2018). Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>

50. Khatun M.; Shuvo M.A.R.; Salam M.T.B. y Rahman S.H. (2019). Effect of organic amendments on soil salinity and the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today* 2019;6 (2):106-111. <https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.2.491>
51. Kruse, J., Abraham, M., Amelung, W., Baum, C., Bol, R., Kühn, O., Lewandowski, H., Niederberger, J., Oelmann, Y., Rüger, C., Santner, J., Siebers, M., Siebers, N., Spohn, M., Vestergren, J., Vogts, A., & Leinweber, P. (2015). Innovative methods in soil phosphorus research: a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 43–88.
52. Tewolde, H., Shankle, M.W., Adeli, A., Sistani, K.R., Rowe, D.E., (2009). Macronutrient concentration in plant parts of cotton fertilized with broiler litter in a marginal upland soil. *Soil Till. Res.* 105, 1–11.
53. Mangalassery, S.; Kalaivanan, D. y Philip, P.S. (2019). Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil. *Soil & Tillage Research*, 187:144-151. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.008>
54. Mazeika, R., Staugaitis, G. and Baltrusaitis, J. (2016). Engineered pelletized organo-mineral fertilizers (OMF) from poultry manure, diammonium phosphate and potassium chloride. *ACS Sustainable Chem. Eng.* DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b01748
55. Mehdizadeh, M.; Izadi-Darbandi, E.; Naceri-Pour- Yazdi, M.T.; Rastgoo, M.; Malaekhe-Nikouei, B. y Nassirli, H. (2019). Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8:113- 121. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0280-8>
56. Mendoza H.; Carrillo, J.; Perales, C.; Ruiz, J. (2003). Evaluación de fuentes de fertilización orgánica para tomate de invernadero en Oaxaca, México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*.
57. Miralles, R., Martin, J.V., Calvo, R. y Delgado, M.M. (2012). Evaluación de nutrientes lixiviados bajo cultivo de maíz por aporte de estiércoles de granjas avícolas. *ITEA*. Vol. 108 (3)., 376-392. Madrid, España.
58. Montalvo Grijalva, D.F., Crozier, C.R., Smyth, T.J., Hardy, D.H., (2010). Nitrogen, phosphorus, and liming effects of poultry layer manures in Coastal Plain and Piedmont soils. *Agron J.* 102, 1329–1339. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2009.0283>.

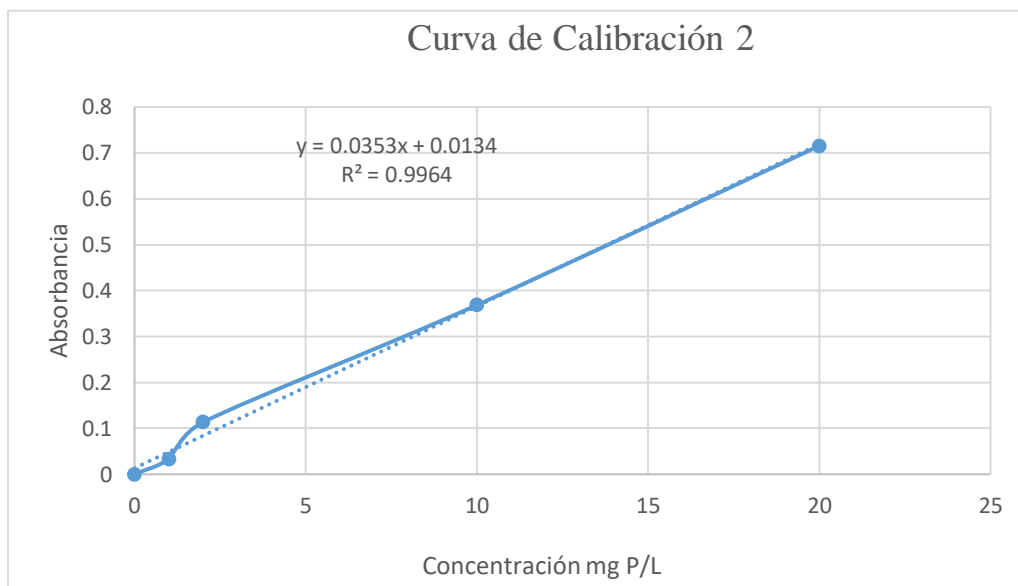
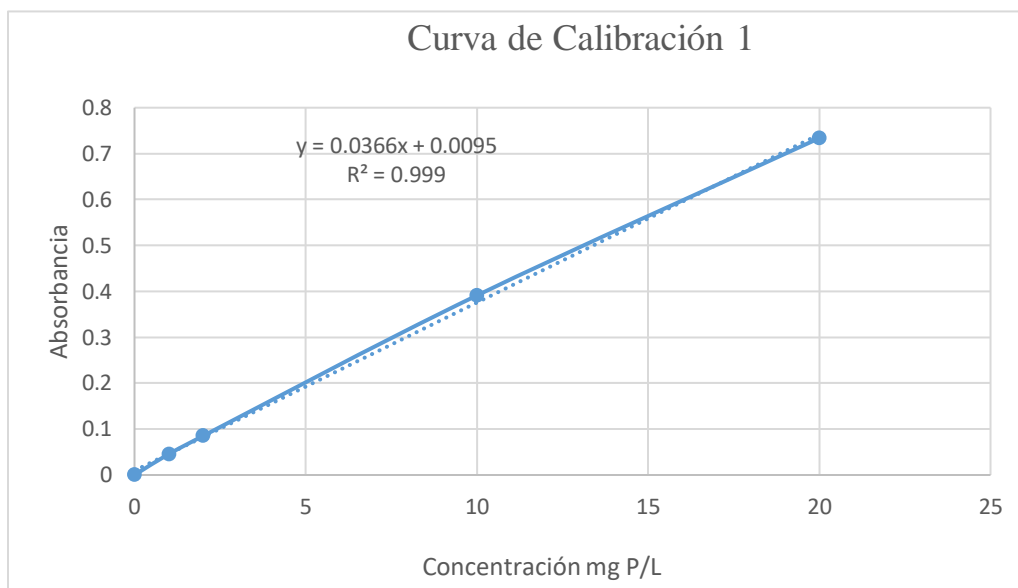
59. Mullins, G. (2009). Phosphorus, Agriculture & the environment. Petesburg, Virginia, Estados Unidos: Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences.
60. Múnera, G.A. y Meza, D.C. (2012). El fosforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda, Colombia. 52 p.
61. Munguía-Xochihua, J., Duran-Puga, N., Alejo-Santiago, G., Salgado-Moreno, S., Carrillo-Diaz, F. y Martínez- González, S. (2019). Cuantificación de Cu, Fe, Zn y Mo en pollinaza generada en pre lluvias, en lluvias y post lluvias. Abanico agroforestal. Enero-diciembre 1:1-7.
62. Nascimento, C. O., Mattos, B. B., Dal Molin, S. J. Fialho, R. L. · Cabral-Albuquerque, E. C. M., Benites, V. M. (2020). Phosphorus Difusion and Agronomic Efcieny of Chicken Litter Organomineral Fertilizers Improved with Binder Materials. Waste and Biomass Valorization <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01274-0>
63. Nascimento CO, Mattos BB, Fialho RL, Cabral-Albuquerque ECM, Benites VM. (2019). The effect of different ceramic materials to improve hardness of organomineral fertilizer granules. *Int J Appl Ceram Technol.* 2019;00:1–9. <https://doi.org/10.1111/ijac.13226>
64. NCDA&CS. Tissue Sampling & Analysis for Greenhouse Tomatoes; North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services Agronomic Division: Raleigh, NC, USA. (2011). Available online: <http://www.ncagr.gov/agronomi/pdffiles/gtomato.pdf>. Consultado el 20 de diciembre 2022.
65. Olaniyi, J.O., Ajibola, A.T., (2008). Effects of inorganic and organic fertilizers application on the growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon lycopersicum*). *J. Appl. Biosci.* 8, 236–242.
66. Osorio, N. W. (2014). Manejo de nutrientes del suelo del trópico, capítulo 2. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. pp. 19-24.
67. Pérez, G. M. y Castro, B. R. (2014). Jitomate en invernadero. Universidad Autonoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México.
68. Reza, M.T., Lynam, J.G., Vasquez, V.R., Coronella, C.J., (2012). Pelletization of biochar from hydrothermally carbonized wood. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 31 (2), 225–234.

69. Ríos Badran, I. M. (2017). Producción de pellets de cascarilla de arroz con máximo contenido energético. Tesis de Maestría. Facultad de Química e ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro.
70. Riechmann, J. (2003). Cuidar la Tierra. Políticas agrarias y alimentarias para entrar en el siglo XXI. Icaria Ed., s.a. Barcelona.
71. Roy, E.D., Willig, E., Richards, P.D., Martinelli, L.A., Vazquez, F.F., Pegorini, L., Spera, S.A., Porder, S., (2017). Soil phosphorus sorption capacity after three decades of intensive fertilization in Mato Grosso, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 249, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.004>
72. Sanchez, C. (2021). Fijacion, solubilidad y movilidad de fósforo: su importancia en aplicaciones de cobertera. Coagra. <http://coagra.cl/fijacion-solubilidad-y-movilidad-de-fosforo-su-importancia-en-aplicaciones-de-cobertera/>
73. Sarvi, M., Hagner, M., Velmala, S., Soenne, R. U., Keskinen, R., Ylivainio, K., Kaseva, J. y Rasa, K. (2021). Bioavailability of phosphorous in granulated and pyrolyzed broiler manure. *Environmental Technology & Innovation.* 23:101584. <http://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101584>
74. Sâmnylla Cristina Espécie Buena, Milton Baptista Filhob, Paulo Sérgio Gomes de Almeida Jr.a, José Carlos Polidoroc, Fábio Lopes Olivaresd, Marcelo Silva Sthela, Helion Vargasa, Leonardo Motaa, Marcelo Gomes da Silvaa. (2015). Cuban zeolite as ammonium carrier in urea-based fertilizer pellets: Photoacoustic-based sensor for monitoring N-ammonia losses by volatilization in aqueous solutions. *Sensors and Actuators B* 212 (35–40).
75. Siddique, M.T., and J.S. Robinson. (2003). Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 32:1114–1121.
76. Soto, G. y G. Meléndez (2003). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Hoja técnica no. 48. Manejo Int. Plagas Agroecol.* 72: 91-97
77. Thapa, S. y Engelken, R. (2020). Optimization of pelleting parameters for producing composite pellets using agricultural and agro-processing wastes by Taguchi-Grey relational analysis. *Carbon resources conversion.* <http://doi.org/10.1016/j.crcon.2020.05.001>

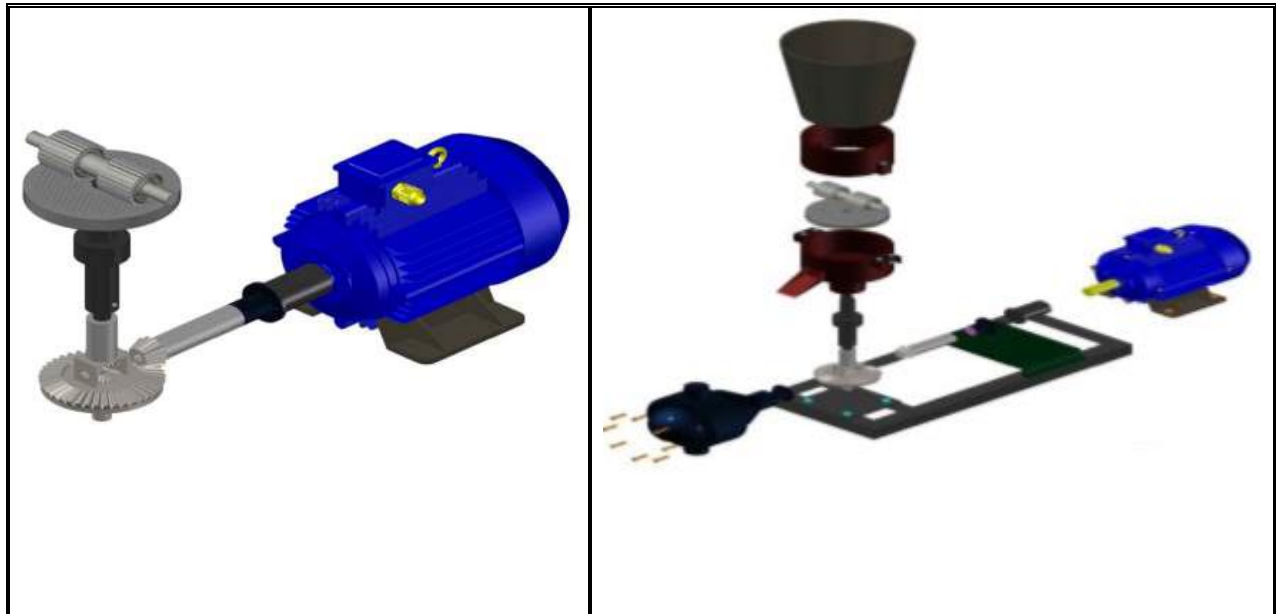
78. Turner, B.L., Paphazy, M.J., Haygarth, P.M. & McKelvie, I.D. (2002). Inositol phosphates in the environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B. Biological Sciences*, 357, 449-469.
79. Valdez Torres, L. C., Granillo Moreno, K. A. (2015). Respuesta del cultivo de pepino a la aplicación de diferentes dosis de nutripellet como fuente de nutrientes y mejorador del suelo bajo condiciones de invernadero en el valle del yaqui. Informe preliminar.
80. Vandecasteele, B., Reubens, B., Willekens, K., De Neve, S. (2014). Composting for increasing the fertilizer value of chicken manure: Effects of feedstock on P availability. *Waste Biomass Valorization* 5, 491–503. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-013-9264-5>.
81. Vargas, J.P.R., dos Santos, D.R., Bastos, M.C., Schaefer, G., Parisi, P.B., (2019). Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. *Soil Tillage Res.* 185, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.014>
82. Vistoso Gacitua, E. M. y Sandaña Gomez, P. (2016). Reacción de los Fertilizantes Fosfatados en el Suelo. INIA REMEHUE.

11. ANEXOS

11.1 Curvas de calibración realizadas para la medición de las absorbancias de fósforo en todos los tratamientos.



11.2 Esquema de las partes de una maquina peletizadora de matriz plana (Garzón y Mendes, 2021).



11.3 Participación en Congreso.

 **ACADEMIA JOURNALS** 

Universidad Nova Spainia

**Congreso Internacional de Investigación de
Academia Journals Morelia 2022**

CERTIFICADO

otorgado a

Lic. en Bio. Patricia Milo Anzures
Dra. Eliazar Aquino Torres
Dra. Judith Prieto Mendez
Dr. Alfredo Madariaga Navarrete
Dra. Margarita Islas Pelcastre

por su artículo titulado

**Obtención y Evaluación de Pellets Basados en Materia Orgánica
para la Liberación de Fósforo y su Aprovechamiento en la
Agricultura**

(Artículo No. MOR202)

La ponencia de este artículo fue presentada en el congreso que tuvo como sede la Universidad Nova Spainia de Morelia, Michoacán, México los días 16 y 17 de mayo de 2022. El artículo en extenso ha sido publicado en las siguientes modalidades: (1) en el portal de Internet AcademiaJournals.com, con [ISSN 1946-3331](https://doi.org/10.24018/aj.v14n2.1946-3331), Vol. 14, No. 2, 2022 online e indexación en la base de datos [Fuente Académica Plus de EBSCOhost](https://www.ebscohost.com) de Ipswich, Massachusetts y (2) en el libro electrónico intitulado [Pasión por el Aprendizaje - Morelia 2022](https://doi.org/10.24018/aj.v14n2.1946-3331), mismo que tiene asignado el [ISBN 978-1-939982-72-8 online](https://doi.org/10.24018/aj.v14n2.1946-3331).


RECTOR GILBERTO AGATÓN CUEVAS
Universidad Nova Spainia


DR. RAFAEL MORÁN, P.E.
Director, Academia Journals


DR. PEDRO LÓPEZ EIROÁ
Director General, PYSEIP

MOR202  Congreso Academia Journals Morelia 2022
<https://www.academiasjournals.com/mor2022>