

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS  
AMBIENTALES**



**“RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR EL MANEJO  
DE *Gypsophila paniculata* BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA”**

**Presentada por:  
JACINTO ENRIQUE VÁZQUEZ VÁZQUEZ**

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTOR *DOCTORIS*  
*PHILOSOPHIAE* EN INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima – Perú  
2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS  
AMBIENTALES**

**“RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR EL  
MANEJO DE *Gypsophila paniculata* BAJO CONDICIONES DE  
LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR**

*Doctoris Philosophiae*

**Presentada por:**

**JACINTO ENRIQUE VÁZQUEZ VÁZQUEZ**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Ph.D. José Calle Maraví  
**PRESIDENTE**

Dr. Oscar Loli Figueroa  
**PATROCINADOR**

Dra. Lia Ramos Fernández  
**MIEMBRO**

Dr. Víctor Meza Contreras  
**MIEMBRO**

Ph.D. Fernando Volker Puertas Ramos  
**MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Enrique y América, mi esposa Maricela, a mis hijos Fernanda y Jorge y a todos mis familiares que me apoyaron para la consecución de este objetivo.



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero comenzar dándole gracias a Dios por guiar mi camino.

A la Universidad Católica de Cuenca por auspiciar la beca para el Doctorado y financiar la investigación.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por permitirme utilizar sus instalaciones para el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Oscar Loli por patrocinar la investigación y guiarme en el desarrollo del trabajo.

A los miembros del jurado por su colaboración en el desarrollo de la investigación.

A los docentes del Doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales por los conocimientos impartidos y al personal administrativo por su colaboración.

A la Escuela de Postgrado de la Universidad nacional Agraria La Molina.

Al Ing. Rubén Bazán por su colaboración en el Laboratorio de Investigación, Suelos, Agua, Plantas del Departamento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
1.1 EL SUELO .....	5
1.1.1 Propiedades físicas del suelo .....	6
1.1.2 Propiedades químicas del suelo .....	10
1.1.3 Propiedades biológicas del suelo .....	11
1.1.4 Calidad del Suelo .....	11
1.1.5 Efectos de la mejora de las propiedades del suelo en su calidad. ....	12
1.1.6 Propiedades del suelo y la fertilidad física, química y biológica .....	13
1.1.7 La disponibilidad de nutrientes .....	14
1.2 DEGRADACIÓN DEL SUELO .....	17
1.2.1 Recuperación del Suelo .....	18
1.3 LA MATERIA ORGÁNICA Y SU IMPORTANCIA EN EL SUELO .....	20
1.3.1 Enmiendas Orgánicas .....	24
1.3.2 Compost .....	25
3.5.2 Vermicompost .....	33
1.4 EL FÓSFORO EN EL SUELO .....	35
1.4.1 Fuentes y formas del P en el suelo .....	36
1.4.2 Adsorción de P en el suelo .....	40
1.4.3 Respuesta del suelo a aplicaciones de fósforo .....	41
1.4.4 Fuentes de K y la respuesta del suelo a su aplicación .....	42
1.5 LA GYPSOPHILA .....	43
1.5.1 Requerimientos del cultivo de Gypsophila .....	44
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
1.6 ZONA DE ESTUDIO .....	47
1.7 MATERIALES .....	47
1.8 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	49
1.8.1 El sustrato suelo .....	49

1.8.2 Adsorción de fosfatos.....	51
1.8.3 Granulometría de la fracción arena.....	52
1.8.4 Humedad del suelo.....	52
1.8.5 Volumen de riego.....	53
1.8.6 Densidad del suelo.....	55
1.8.7 Determinación del contenido foliar de la <i>Gypsophila paniculata</i> .....	55
1.8.8 Las enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost.....	56
1.8.9 Agua utilizada para riego.....	57
1.8.10 Datos meteorológicos.....	57
1.8.11 Análisis estadístico.....	57
<b>1.9 EXPERIMENTOS REALIZADOS.....</b>	<b>58</b>
1.9.1 Experimento 1 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis creciente de enmiendas orgánicas en cultivo de <i>Gypsophila</i> ”.....	58
1.9.2 Experimento 2 “Respuesta del suelo a dosis crecientes de fósforo y potasio en cultivo de maíz”.....	65
1.9.3 Experimento 3 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en cultivo de <i>Gypsophila</i> ”.....	68
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
1.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN ESTUDIO.....	73
1.10.1 Características físico químico de suelo.....	73
1.10.2 Granulometría de la fracción arena del suelo.....	74
1.10.3 Humedad del suelo.....	75
1.10.4 Determinación de la ecuación de humedad del suelo.....	75
1.10.5 Densidad del suelo.....	76
1.10.6 Adsorción de Fósforo en el suelo.....	77
1.10.7 Caracterización de las enmiendas orgánicas.....	79
1.10.8 Características estándar del agua utilizada para riego.....	81
1.11 EXPERIMENTO 1 “RESPUESTA DEL SUELO A DOSIS CRECIENTE DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN CULTIVO DE GYPSOPHILA”.....	82
1.11.1 Días al inicio de floración de <i>Gypsophila</i> .....	82
1.11.2 Altura de tallos de <i>Gypsophila</i> en cm.....	86
1.11.3 Número de laterales por tallo de <i>Gypsophila</i> .....	91
1.11.4 Porcentaje de laterales abiertos de <i>Gypsophila</i> .....	93
1.11.5 Peso fresco de tallo de <i>Gypsophila</i> en g.....	97
1.11.6 Peso seco de tallo de <i>Gypsophila</i> en g.....	100
1.11.7 Contenido de humedad en tallo de <i>Gypsophila</i> en porcentaje.....	104



1.11.8	Influencia de las condiciones meteorológicas .....	108
1.11.9	Análisis de producción de <i>Gypsophila</i> .....	110
1.11.10	Análisis de costo beneficio de la incorporación de enmiendas en la producción de <i>Gypsophila</i> .....	111
1.11.11	Parámetros físico químicos de sustrato suelo al finalizar la cosecha 1 y la cosecha 3 .....	112
1.11.12	Contenido foliar de elementos en ( <i>Gypsophila paniculata</i> ).....	118
1.12	EXPERIMENTO 2 “RESPUESTA DEL SUELO A DOSIS CRECIENTES DE FÓSFORO Y POTASIO EN CULTIVO DE MAÍZ” .....	129
1.12.1	Altura de plantas a los 45 días de la siembra.....	129
1.12.2	Peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra.....	131
1.12.3	Peso seco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra.....	133
1.12.4	Peso fresco de la raíz de maíz a los 45 días después de la siembra.....	134
1.12.5	Peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días después de la siembra.....	136
1.12.6	Peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra....	138
1.12.7	Peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra .....	140
1.12.8	Contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra en base a peso fresco en porcentaje.....	142
1.13	EXPERIMENTO 3 “RESPUESTA DEL SUELO A FUENTES Y DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y DOSIS DE FÓSFORO EN CULTIVO DE GYPSOPHILA” .....	145
1.13.1	Número de días días a la cosecha de <i>Gypsophila</i> .....	145
1.13.2	Altura de tallos de <i>Gypsophila</i> a la cosecha en cm .....	147
1.13.3	Número de laterales por tallo de <i>Gypsophila</i> a la cosecha .....	150
1.13.4	Peso fresco de tallo de <i>Gypsophila</i> a la cosecha en g.....	152
1.13.5	Peso seco de tallo de <i>Gypsophila</i> a la cosecha en g .....	155
1.13.6	Contenido de humedad en tallo <i>Gypsophila</i> a la cosecha en porcentaje .....	157
1.13.7	Contenido foliar de elementos mayores y menores en ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) .....	161
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>167</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>169</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>171</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>185</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Contenido de materia orgánica del suelo.....	21
Cuadro 2: Clasificación de los métodos de evaluación de la madurez del compost .....	28
Cuadro 3: Características generales que deben cumplir los tipos de composta (Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011).....	30
Cuadro 4: Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg-1 en base seca, que deben cumplir los tipos de composta (Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011).....	30
Cuadro 5: Requisitos físico-químicos para las clases A y B de compost (Norma Chilena NCh 2880) .....	31
Cuadro 6: requisitos de calidad para productos utilizados como abonos orgánicos y enmiendas orgánicas (Norma técnica Colombiana NTC 5167) .....	32
Cuadro 7: Concentraciones máximas de elementos en mg·kg-1 en materia seca (MS), que deben cumplir los tipos de composta. Reglamento Austriaco de calidad del compost (Kompostverordnung, BGBL, 2001).....	32
Cuadro 8: Condiciones físicas mínimas del vermicompost .....	34
Cuadro 9: Condiciones físico químicas para vermicompost .....	35
Cuadro 10: Niveles e intervalos para interpretar análisis foliares en Gypsophila.....	45
Cuadro 11: Tratamientos experimento 1 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas en cultivo de Gypsophila” .....	59
Cuadro 12: Tratamientos de experimento 2 “Respuesta del suelo a dosis crecientes de fósforo y potasio en cultivo de maíz” .....	65
Cuadro 13: Tratamientos experimento 3 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en el cultivo de Gypsophila” .....	69
Cuadro 14: Resultados de características físico químicas del suelo.....	73
Cuadro 15: Resultado de granulometría de fracción arena del suelo .....	75
Cuadro 16: Resultados de humedad del suelo .....	75
Cuadro 17: Resultados de densidad del suelo .....	76
Cuadro 18. Resultados de Capacidad máxima de adsorción de P y constante de energía de retención de P del sustrato suelo .....	78
Cuadro 19: Parámetros físico químico de compost y vermicompost .....	79

Cuadro 20: Análisis físico químico del agua de riego .....	81
Cuadro 21: Resultados de Días al inicio de floración de Gypsophila cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ) .....	83
Cuadro 22: Resultados de Días al inicio de floración de Gypsophila cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ) .....	84
Cuadro 23: Resultados de Días al inicio de floración de Gypsophila cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ ) .....	85
Cuadro 24: Promedios de la variable días al inicio de floración en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	86
Cuadro 25: Promedios de la variable altura de tallo de Gypsophila a los 30, 45 y 60 días de la siembra en cosecha 1 por enmiendas y por dosis .....	86
Cuadro 26: Resultados de Altura de tallo de Gypsophila en cm cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	87
Cuadro 27: Resultados de Altura de tallo de Gypsophila en cm cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	88
Cuadro 28: Resultados de Altura de tallo de Gypsophila en cm cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	89
Cuadro 29: Promedios de la variable altura de tallo en cm en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	90
Cuadro 30: Resultados de Número de laterales por tallos de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	91
Cuadro 31: Resultados de Número de laterales por tallos de Gypsophila en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	92
Cuadro 32: Resultados de Número de laterales por tallos de Gypsophila en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	93
Cuadro 33: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )..	94
Cuadro 34: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )..	95
Cuadro 35: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )..	96

Cuadro 36: Promedios de la variable laterales por tallo y porcentaje de laterales abiertos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	97
Cuadro 37: Resultados de Peso fresco de tallo de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	97
Cuadro 38: Resultados de Peso fresco de tallo de Gypsophila en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	98
Cuadro 39: Resultados de Peso fresco de tallo de Gypsophila en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	99
Cuadro 40: Promedios de la variable peso fresco de tallos de Gypsophila en gramos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	100
Cuadro 41: Resultados de Peso seco de tallo de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	101
Cuadro 42: Resultados de Peso seco de tallo de Gypsophila en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	102
Cuadro 43: Resultados de Peso seco de tallo de Gypsophila en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	103
Cuadro 44: Promedios de la variable peso seco de tallos en gramos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	104
Cuadro 45: Resultados de Contenido de humedad en tallo Gypsophila cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	105
Cuadro 46: Resultados de Contenido de humedad en tallo Gypsophila cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	106
Cuadro 47: Resultados de Contenido de humedad en tallo Gypsophila cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	107
Cuadro 48: Promedios del parámetro porcentaje de humedad en tallos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis .....	108
Cuadro 49: Análisis de relación costo beneficio de las tres cosechas de Gypsophila por tratamientos .....	112
Cuadro 50: Promedios de las características del suelo por enmiendas y por dosis luego de cosecha1 y cosecha3 frente al sustrato suelo inicial.....	113
Cuadro 51: Caracterización físico químicas de sustratos suelo de los diferentes tratamientos en estudio terminado la cosecha 1 y la cosecha 3.....	117

Cuadro 52: Características físico químicas de sustrato del tratamiento TESTIGO .....	118
Cuadro 53: Promedios de contenido foliar en porcentaje de elementos mayores por enmiendas y por dosis en las tres cosechas de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ).....	119
Cuadro 54: Contenido foliar en porcentaje de los elementos mayores en las tres cosechas de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ).....	123
Cuadro 55: Promedios de contenido foliar en ppm de elementos menores por enmiendas y por dosis en las tres cosechas de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ).....	125
Cuadro 56: Contenido foliar en ppm de los elementos menores en las tres cosechas de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) .....	128
Cuadro 57: Resultados de Efecto de P en Altura de plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )..	129
Cuadro 58: Resultados de Interacción del P y el K en altura de plantas en cm a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	130
Cuadro 59: Resultados de Efecto de P en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )...	131
Cuadro 60: Resultados de Interacción del P y el K en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	132
Cuadro 61: Resultados de Efecto de P en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )...	133
Cuadro 62: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparadas con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	134
Cuadro 63: Resultados de Efecto de P en peso fresco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	135
Cuadro 64: Resultados de Interacción del P y el K en peso de la raíz de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	136
Cuadro 65: Resultados de Efecto de P en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )	137

Cuadro 66: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	137
Cuadro 67: Resultados de Efecto de P en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	138
Cuadro 68: Resultados de Interacción del P y el K en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	139
Cuadro 69: Resultados de Efecto de P en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )	140
Cuadro 70: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	141
Cuadro 71: Resultados de Efecto de P en contenido de humedad en plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	142
Cuadro 72: Resultados de Interacción del P y el K en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	143
Cuadro 73: Resultados de Efecto de enmiendas en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	145
Cuadro 74: Resultados de Efecto del P en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	146
Cuadro 75: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	147
Cuadro 76: Resultados de Efecto de enmiendas en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	148
Cuadro 77: Resultados de Efecto de P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher (Alfa=0.05).....	148

Cuadro 78: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	149
Cuadro 79: Resultados de Efecto de enmiendas en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	150
Cuadro 80: Resultados de Efecto del P en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )...	151
Cuadro 81: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	152
Cuadro 82: Resultados de Efecto de enmiendas en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	153
Cuadro 83: Resultados de Efecto del P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	153
Cuadro 84: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	154
Cuadro 85: Resultados de Efecto de enmiendas en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	155
Cuadro 86: Resultados de Efecto del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	156
Cuadro 87: Resultados de Interacción de enmiendas y del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	157
Cuadro 88: Resultados de Efecto de enmiendas en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	158
Cuadro 89: Resultados de Efecto del P en contenido de humedad en tallo de Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ).....	158



Cuadro 90: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) .....	159
Cuadro 91: Resultados de peso seco de tallo y contenido foliar de elementos mayores a la cosecha en Gypsophila, promedios de contenido foliar de enmiendas dosis de enmiendas y dosis de P.....	163
Cuadro 92: Resultados de peso seco y contenido foliar de elementos menores a la cosecha en Gypsophila, promedios de contenido foliar de enmiendas dosis de enmiendas y dosis de P.....	165



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de embalaje de las partículas del suelo, tamaño medio de los poros alrededor partículas. ....	9
Figura 2: Componentes orgánicos presentes en el suelo .....	20
Figura 3: Relación entre la concentración de C en las partículas de arcilla y limo: C orgánico total del suelo y el porcentaje de arcilla y limo en (a) suelos cultivados y (b) suelos de praderas.....	21
Figura 4: Diferentes formas de fósforo en el suelo .....	37
Figura 5: Esquema de las tres fracciones más importantes de P en el suelo para la nutrición vegetal.....	38
Figura 6. Ubicación del lugar de procedencia del sustrato suelo .....	47
Figura 7: a) Pila común para compostaje y alimento de lombrices. b) Cama de vermicompostaje. c) Productos finales de compost y vermicompost.....	48
Figura 8: a) Lectura del sensor de humedad. b) Toma de muestra de sustrato. c) Peso húmedo de sustrato. d) Secado en estufa de sustrato.....	54
Figura 9: a) Tamizado de sustrato. b) Pesado de sustrato c) Pesado de enmienda orgánica. d) Mezclado de enmienda orgánica con el sustrato.....	60
Figura 10: a) Clasificación de plantas de Gypsophila para la siembra. b) Siembra de plantas de Gypsophila.....	61
Figura 11: a) Riego por nebulización después de la siembra. b) Control de humedad con medidor de humedad del suelo Vigor modelo 308 314 a 10 centímetros .....	62
Figura 12: a) Altura de tallo a los 45 días de la siembra. b) Altura de tallo a la cosecha ...	62
Figura 13: Número de laterales y laterales abierto de tallo de Gypsophila.....	63
Figura 14: a) Picado de tallo de Gypsophila. b) Peso fresco de tallo de Gypsophila.....	64
Figura 15: a) Toma de muestra para análisis de caracterización de sustrato en cosecha 1 y 3. b) Toma de muestra para análisis foliar en cosechas 1, 2 y 3.....	65
Figura 16: a) altura de planta de maíz en cm a los 15 días después la siembra. b) altura de plantas de maíz en cm a los 45 días después de la siembra.....	67
Figura 17: a) Colección de parte aérea de las plantas. b) Picado de follaje para pesado y llevar a estufa. c) Preparación de raíces para pesar y llevar a la estufa. ....	68
Figura 18: Curva de calibración del medidor de humedad Vigor 308 314 .....	76

Figura 19. Isotherma de adsorción de ortofosfatos .....	77
Figura 20. Ecuación simple de Langmuir q (estimado) vs q (observado).....	78
Figura 21: Diagnostico de la variable días al inicio de floración en base a los predichos y residuales a) Homogeneidad de la variable b) Distribución de la variable .....	82
Figura 22: Días al inicio de floración de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cosecha 1 .....	83
Figura 23: Días al inicio de floración de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cosecha 2 .....	84
Figura 24: Días al inicio de floración de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cosecha 3 .....	85
Figura 25: Altura de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cm a la cosecha 1 .....	87
Figura 26: Altura de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cm a la cosecha 2 .....	88
Figura 27: Altura de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en cm a la cosecha 3 .....	89
Figura 28: Número de laterales por tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) a la cosecha 1 .....	91
Figura 29: Número de laterales por tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) a la cosecha 2 .....	92
Figura 30: Número de laterales por tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) a la cosecha 3 .....	93
Figura 31: Porcentaje de laterales abiertos de <i>Gypsophila</i> en la cosecha 1 .....	94
Figura 32: Porcentaje de laterales abiertos de <i>Gypsophila</i> en la cosecha 2 .....	95
Figura 33: Porcentaje de laterales abiertos de <i>Gypsophila</i> en la cosecha 3 .....	96
Figura 34: Peso fresco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 1 .....	98
Figura 35: Peso fresco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 2 .....	99
Figura 36: Peso fresco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 3 .....	100
Figura 37: Peso seco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 1 .....	101
Figura 38: Peso seco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 2 .....	102
Figura 39: Peso seco de tallos de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en g cosecha 3 .....	103
Figura 40: Porcentaje de humedad en tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) cosecha 1 .....	105
Figura 41: Porcentaje de humedad en tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) cosecha 2 .....	106
Figura 42: Porcentaje de humedad en tallo de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) cosecha 3 .....	107
Figura 43. Variación temporal de la Temperatura media diaria en °C y la Humedad Relativa media diaria en % para las tres cosechas de <i>Gypsophila</i> .....	109
Figura 44. Variación temporal de Horas de sol diaria para las tres cosechas de <i>Gypsophila</i> .....	109
Figura 45: Producción promedio en cajas FB por hectárea de ( <i>Gypsophila paniculata</i> ) en los tres ciclos de cosechas con referencia de las fecha .....	111

Figura 46: Variaciones por cosecha del contenido foliar en porcentaje de N, P, K, Ca, Mg, S y Na en <i>Gysposphila</i> .....	122
Figura 47: Variaciones por cosecha del contenido foliar en partes por millón de Zn, Cu, Mn, Fe y B en <i>Gysposphila</i> .....	127
Figura 48: Efecto del P en altura de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra	130
Figura 49: Interacción del P y el K en altura de plantas de maíz a los 45 días de la siembra .....	131
Figura 50: Efecto de P en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra .....	132
Figura 51: Interacción del P y el K en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra .....	132
Figura 52: Efecto de P en peso seco foliar en g plantas de maíz a los 45 días después de la siembra .....	133
Figura 53: Interacción del P y el K en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra .....	134
Figura 54: Efecto de P en peso fresco de la raíz en g plantas de maíz a los 45 días después de la siembra.....	135
Figura 55: Interacción del P y el K en peso fresco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra .....	136
Figura 56: Efecto de P en peso seco de raíz de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra.....	137
Figura 57: Interacción del P y el K en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra .....	138
Figura 58: Efecto de P en peso fresco en g de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra .....	139
Figura 59: Interacción del P y el K en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra.....	140
Figura 60: Efecto de P en peso seco en g de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra .....	141
Figura 61: Interacción del P y el K en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra .....	142

Figura 62: Efecto de P en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra en porcentaje .....	143
Figura 63: Interacción del P y el K en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra en porcentaje.....	144
Figura 64: Efecto de enmiendas en el número de días a la cosecha de Gypsophila .....	145
Figura 65: Efecto del P en el número de días a la cosecha de Gypsophila .....	146
Figura 66: Interacción de enmiendas y el P en el número de días a la cosecha de Gypsophila .....	147
Figura 67: Efecto de enmiendas en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm.....	148
Figura 68: Efecto del P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm.....	149
Figura 69: Interacción de enmiendas y el P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm.....	150
Figura 70: Efecto de enmiendas en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha .....	151
Figura 71: Efecto del P en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha .....	151
Figura 72: Interacción de enmiendas y el P en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha .....	152
Figura 73: Efecto de enmiendas en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g....	153
Figura 74: Efecto del P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g .....	154
Figura 75: Interacción de enmiendas con el P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g .....	155
Figura 76: Efecto de enmiendas en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g .....	155
Figura 77: Efecto del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g .....	156
Figura 78: Interacción de enmiendas y el P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g .....	157
Figura 79: Efecto de enmiendas en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje .....	158
Figura 80: Efecto del P en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje .....	159
Figura 81: Interacción de enmiendas y el P en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje.....	160

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Datos tomados para la curva de humedad del suelo.....	185
ANEXO 2: Datos para construcción de isoterma de Langmuir para adsorción de P.....	186
ANEXO 3: Resultados de análisis de agua para riego .....	187
ANEXO 4: Datos ensayo dosis creciente de enmiendas orgánicas cosecha 1, 2 y 3 .....	188
ANEXO 5: Datos climáticos del Observatorio Meteorológica Alexander Von Humboldt periodo del ensayo de dosis creciente de enmiendas orgánicas .....	191
ANEXO 6: Datos del ensayo respuesta del suelo a dosis crecientes de P y K.....	195
ANEXO 7: Datos del ensayo respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas y dosis de P.....	196





## RESUMEN

El cultivo de *Gypsophila* es de importancia económica para Ecuador, representa el 9% de las exportaciones de flores, pero su monocultivo resulta en la degradación del suelo, probablemente se afectan sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por ello el empleo de enmiendas orgánicas podría favorecer su recuperación. Es así que el objetivo de la investigación fue recuperar la capacidad productiva de un suelo de Ecuador explotado por dieciocho años con monocultivo de *Gypsophila* en condiciones de La Molina, mediante la aplicación de compost en comparación con vermicompost de procedencia común, preparados en base de residuos de podas de jardín y estiércol vacuno y alternar con dosis de fósforo. Se realizaron tres ensayos en condiciones de invernadero y en laboratorio se caracterizaron enmiendas, sustrato y contenido foliar de *Gypsophila*. Se probaron dosis de compost y vermicompost en tres ciclos de cosecha de *Gypsophila*, dosis crecientes de fósforo en maíz y el efecto de las enmiendas con adiciones de P en *Gypsophila*. El vermicompost presentó, menor pH, menor salinidad, menor concentración de sodio y mayor humedad retenida, el tratamiento compost 0,50% en cosechas 1 y 2 logró mayor altura y peso seco del tallo de *Gypsophila*, mientras que el tratamiento vermicompost 0,50% resultó mejor en cosecha 3, las enmiendas permitieron reducir la densidad y la variación del pH e incrementaron el contenido de MO del suelo. El suelo no presenta niveles significativos de adsorción de fósforo. La dosis de P 200 ppm alcanzó los mejores resultados de las variables agronómicas en maíz. Al mezclar las enmiendas orgánicas con fósforo, mejoró la disponibilidad de este nutriente se produjo un incremento en el rendimiento de *Gypsophila*, las diferencias estadísticas no alcanzaron significancia, pero los mejores resultados corresponden a los tratamientos vermicompost 1,5% y compost 1,5% ambos con dosis de P de 200 kg/ha.

**Palabras claves:** compost, vermicompost, enmiendas orgánicas, fósforo, recuperación de suelo.



## ABSTRACT

The cultivation of Gypsophila is of economic importance for Ecuador, it represents 9% of the exports of flowers, but its monoculture results in the degradation of the soil, probably its physical, chemical and biological properties are affected, for that reason the use of organic amendments could favor your recovery. Thus, the objective of the research was to recover the productive capacity of a soil of Ecuador exploited for eighteen years with Gypsophila monoculture under La Molina conditions, through the application of compost compared to vermicompost of common origin, prepared on the basis of waste of garden prunings and cow dung and alternate with doses of P. Three trials were carried out under greenhouse conditions and in the laboratory, amendments, substrate and foliar content of Gypsophila were characterized. Compost and vermicompost doses were tested in three harvest cycles of Gypsophila, increasing doses of phosphorus in corn and the effect of the amendments with additions of phosphorus in Gypsophila. The vermicompost presented, lower pH, lower salinity, lower concentration of sodium and higher humidity retained, the compost treatment 0.50% in crops 1 and 2 achieved higher height and dry weight of the stem of Gypsophila, while the treatment vermicompost 0.50 % was better in harvest 3, the amendments allowed to reduce the density and variation of pH and increased the OM content of the soil. The soil does not present significant levels of phosphorus adsorption. The dose of P 200 ppm reached the best results of the agronomic variables in corn. When mixing the organic amendments with phosphorus, improved the availability of this nutrient there was an increase in the yield of Gypsophila, the statistical differences did not reach significance, but the best results correspond to the treatments vermicompost 1.5% and compost 1.5% both with P doses of 200 kg / ha.

**Keywords:** compost, vermicompost, organic amendments, phosphorus, soil recovery.



## INTRODUCCIÓN

Según estadísticas del Banco Central del Ecuador en el año 2016 las exportaciones de flores representaron el 7% de las exportaciones no petroleras del país, el sector florícola es una industria que genera una alta demanda de mano de obra calificada y no calificada con un promedio de 12 personas por hectárea, por lo que influye en la economía de los sectores en la que se desarrolla. Ecuador por estar situado en la línea equinoccial no posee las cuatro estaciones del año y cuenta con un número de horas luz relativamente constante, lo que permiten la producción de varias especies de flores de verano como la (*Gypsophila paniculata*), de la cual es el principal productor con el 77% de la producción mundial, lo que representa el 9% de las exportaciones de flores del país (Pro Ecuador, 2015).

La *Gypsophila* es cultivada para flor cortada y utilizada tradicionalmente como complemento de arreglos y ramos florales, la altura y el peso fresco de los tallos son parámetros importantes para su comercialización (López *et al.*, 2006). Como planta es extractora de nutrientes, los mismos que son extraídos del suelo (diecinueve elementos esenciales para las plantas), por lo que la producción en forma de monocultivo provoca que el mismo se vea reducido en su concentración, lo que induce una baja en la producción de cosechas posteriores, lo cual es considerado como degradación, es así que con el transcurso del tiempo los suelos dedicados a la producción de *Gypsophila* han sufrido alteraciones que ha traído consigo reducción en la producción, lo cual es motivo de preocupación.

Ramírez *et al.* (2011) mencionan que la degradación del suelo es entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual o futura del suelo para sostener la vida humana. Santana y Ulloa (2013) indican que el suelo es un recurso limitado y que de su uso inapropiado e implementación de pobres prácticas de manejo, resulta la degradación. Se entiende que recuperar suelos degradados es restablecer sus principales funciones biológicas, físicas y químicas, para lo que se puede utilizar diferentes métodos y estrategias, entre estas la incorporación de enmiendas orgánicas de los residuos de las actividades agrícolas como el compost y el vermicompost (Melgarejo, 1997; Porta *et al.*, 2003; Delgado-Moreno y Peña, 2009; Orozco *et al.*, 2016).

En la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible, procesos como el compostaje, el vermicompostaje y los productos derivados de los mismos han adquirido un especial auge por su capacidad de restituir al suelo una cierta proporción de materia orgánica para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016).

Adicionar nutrientes como el P en combinación con enmiendas orgánicas bioestimulan la recuperación de la actividad microbiana en el suelo (Kanissery y Sims, 2011), después del N, el P es el segundo elemento en importancia para el crecimiento y la calidad de las plantas, es un recurso no renovable y cuyas reservas mundiales actuales podrían agotarse en 50-100 años (Dawson y Hilton, 2011), y un exceso en el suelo puede causar eutrofización de cuerpos de agua (Sharpley *et al.*, 2003), por lo que un manejo sostenible debe ir encaminado al empleo de fuentes y dosis que mejoren su biodisponibilidad (Lozano *et al.*, 2012).

Por lo expuesto se justifica, el desarrollo de estrategias de gestión sostenible a largo plazo, que permitan conservar las fuentes de empleo, mejorar los ingresos del país, que sean cruciales para el mantenimiento o aumento de la calidad del suelo, dándole un valor agregado a los residuos de cosechas, optimizando la utilización de fertilizantes a base de fósforo. En este contexto se plantea el presente estudio experimental, empleando: fuentes de materia orgánica como compost y vermicompost de procedencia común, por su efecto en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, adiciones del elemento fósforo, nutriente relacionado con el transporte de energía y que interviene en el desarrollo de nuevas estructuras en la planta, y como planta indicadora la *Gypsophila*. Para el efecto se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Recuperar la capacidad productiva de suelos dedicados al cultivo de *Gypsophila paniculata* en condiciones de La Molina, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas en forma de compost, vermicompost y del elemento P.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar parámetros físico-químicos del sustrato, compost y vermicompost a utilizarse en la investigación.
- Evaluar los efectos de la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost en la recuperación de la capacidad productiva de suelos dedicados al cultivo de (*Gypsophila paniculata*).

- Determinar el efecto del fósforo en el crecimiento y desarrollo de cultivo de maíz a nivel de invernadero de un suelo dedicados al monocultivo de (*Gypsophila paniculata*).
- Evaluar los efectos de la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost con adiciones de dosis de fósforo en la recuperación de la capacidad productiva de un suelo dedicados al monocultivo de (*Gypsophila paniculata*)





## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1 EL SUELO

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) y se pueden distinguir en él cuatro componentes: material orgánico, material inorgánico, agua y aire, los cuales están íntimamente ligados y mezclados entre sí, dando origen a un ambiente ideal para el crecimiento de las plantas (Navarro y Navarro, 2003).

El suelo es el resultado de la transformación, en el transcurso del tiempo, de un material geológico (roca madre), por la influencia de varios procesos físicos, químicos y biológicos. El suelo se compone de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en proporciones variables (Casas, 2012).

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, que surge como consecuencia de un largo proceso de meteorización, y constituye el medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres, al proporcionarles los nutrientes que necesitan y servirles de sustrato sobre el cual crecer. No es un elemento estático y carente de vida, al contrario, la vida del suelo es muy diversa constituida por micro y macro organismos, por las plantas y su sistema radicular (Hernández, 2011).

García (2013) indica que, el suelo es un ente natural complejo polifásico y polidinámico, en consecuencia, puede ser conceptualizado desde múltiples perspectivas. No existe ninguna definición inequívoca de suelo, conforme se van descubriendo nuevas perspectivas, va expandiéndose nuestra consciencia de la riqueza inherente al mundo de los suelos. Para La Agencia Europea de Medio Ambiente (2004) “El suelo es un sistema natural, organizado e independiente, cuya formación se debe a la acción conjunta del clima, los organismos, la vegetación, el relieve y el tiempo sobre la roca madre, constituye una matriz de componentes orgánicos y minerales que engloba una red porosa por donde circulan líquidos y gases, albergando numerosas poblaciones de organismos vivos en una situación de equilibrio dinámico”. Porta *et al.* (2003) manifiestan que, el suelo tiene diversas funciones y pueden estar relacionadas a los aspectos ecológicos, técnicos, industriales, socioeconómicos y culturales. Entre las principales destacan las siguientes:

- Función Productiva: suministro de nutrientes, aire y agua a las plantas.
- Función Hidrológica: almacenamiento y flujo de agua superficial y subsuperficial.
- Función Medioambiental: filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y reducir la toxicidad de compuestos orgánicos e inorgánicos.
- Función Biológica: hábitat de diferentes organismos.
- Función Biogeoquímica: almacenar y posibilitar el ciclo biogeoquímico de nutrientes.

Para Mengel y Kirkby (1987), el suelo es un medio heterogéneo compuesto por tres fases principales: una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa, todas influyen en el suministro de nutrientes a las raíces de las plantas. La fase sólida puede ser vista como el principal reservorio de nutrientes, las partículas inorgánicas de la fase sólida contienen nutrientes catiónicos tales como K, Na, Ca, Mg, Mn, Zn y Cu mientras que las partículas orgánicas de esta fase suponen la principal reserva de N, y en menor grado, de P y S. En la fase líquida, la solución de suelo es principalmente responsable del transporte de nutrientes en el suelo, lleva los nutrientes desde las distintas partes del suelo hacia las raíces, estos nutrientes están fundamentalmente en su forma iónica, aunque el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> también están disueltos en la solución de suelo. En tanto que la fase gaseosa del suelo participa en el intercambio gaseoso que ocurre entre los numerosos organismos vivos del suelo (raíces de las plantas, hongos, bacterias y animales) y la atmósfera, de este proceso resulta en el suministro de O<sub>2</sub> a dichos organismos vivos y la eliminación del CO<sub>2</sub> producido por la respiración de la atmósfera del suelo, cabe señalar que hay una fuerte interrelación de los nutrientes en las fases líquida, sólida y gaseosa.

Casas (2012) señala que, cada suelo, según la naturaleza de sus componentes, los contenidos relativos de éstos y el modo en que se agregan a sus partículas sólidas presentan unas propiedades físicas, químicas y biológicas definidas.

### **1.1.1 Propiedades físicas del suelo**

Las principales propiedades físicas del suelo son la profundidad libre, el color, los elementos gruesos, la porosidad y la capacidad de retención de agua. Estas propiedades del suelo son permanentes y resulta muy costoso tratar de modificar alguna de ellas (Casas, 2012).

#### **Profundidad libre**

FAO (2016) menciona que, la profundidad efectiva del suelo fue considerada como la espesura del suelo, con presencia de raíces y la actividad biológica. En tanto que, para Casas

(2012) la profundidad libre o utilizable del suelo es el espesor del conjunto de horizontes del perfil del suelo que las raíces pueden explorar sin ningún tipo de limitación.

### **Color**

El color del suelo depende de sus componentes y puede usarse como una medida indirecta de ciertas propiedades. Casas (2012) señala que, la importancia del color del suelo radica en que permite deducir otras características del suelo.

### **Textura**

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen. FAO (2016) señala que, es la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. Es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua. Las arenas gruesas facilitan el drenaje y aireación en el suelo, pero su retención de agua es muy baja o nula, el predominio de arenas finas o muy finas favorecen la formación de poros muy pequeños en el suelo, donde el agua puede quedarse inmovilizada, provocando problemas de drenaje deficiente y falta de oxígeno en el suelo (Casas, 2012). Es una descripción de la distribución del tamaño de las partículas de suelo mineral que componen la fracción sólida del suelo (de arcilla  $<2 \mu\text{m}$  a partículas gruesas  $> 2000 \mu\text{m}$ ), es quizás la más importante, ya que determina muchas otras propiedades físicas como la tasa de infiltración y químicas como la capacidad de intercambio catiónico (Villalobos y Fereres, 2016).

### **Estructura**

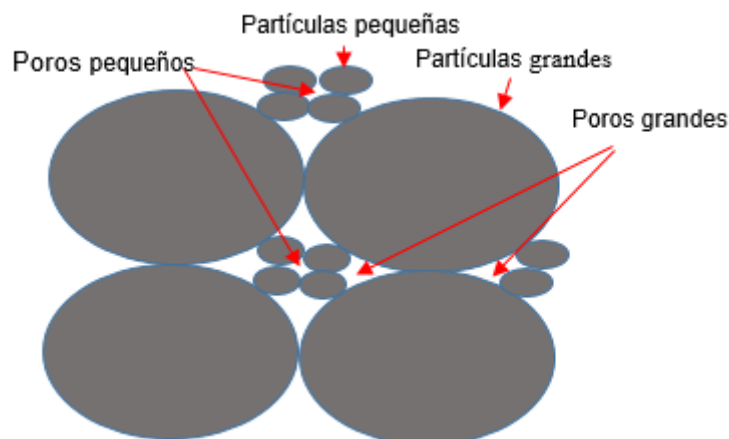
La estructura del suelo es la forma en que las partículas de este se reúnen para formar agregados. Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds, la estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (FAO 2016). La estructura del suelo describe la disposición de las partículas minerales y la materia orgánica en el suelo, particularmente la disposición de los poros entre estas partículas, y su estabilidad, en contraste con la textura, la estructura del suelo puede ser modificada sustancialmente por el manejo del suelo (Villalobos y Fereres, 2016). Los huecos o poros que quedan entre los agregados permiten la circulación del agua y el aire; en ellos pueden desarrollar su actividad los microorganismos y a través de ellos crecen las raíces.

## **Porosidad**

La porosidad es consecuencia de la textura y estructura del suelo, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos, donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua. FAO (2016) señala que, el espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos.

## **Retención del agua en el suelo**

La distribución del tamaño de las partículas del suelo ha sido ampliamente utilizada para estimar la curva de retención de agua del suelo. Haverkamp y Parlange (1986) señalan que la curva de retención de agua del suelo se estima directamente de los datos de tamaño de poro, suponiendo una distribución logarítmica normal para tamaño de poros y distribución de poros en el suelo arenosos. Ding *et al.* (2016) indican que, la idea de la clasificación de los poros sobre la base de la textura del suelo surgió de las similitudes observadas entre los tres parámetros (poros residuales, texturales y estructurales) y los tres se separan del suelo es decir (arcilla, limo y arena), todas las partículas de suelo se supone que son casi esféricas, y el tamaño medio de los poros alrededor de las partículas aumentó progresivamente con el tamaño de partícula (Figura 1).



**Figura 1: Modelo de embalaje de las partículas del suelo, tamaño medio de los poros alrededor partículas.**

Fuente: Modificado de Ding *et al.* (2016)

### **Disponibilidad de agua del suelo**

No toda el agua en el suelo está disponible para los cultivos, para que la planta pueda hacer uso del agua en el suelo, debe tener a su disposición suficiente cantidad de aire, cuando el suelo se encuentra en su punto de saturación, la planta no puede hacer un buen uso del agua por falta de aire, por otro lado, el agua fijada a las partículas del suelo tampoco está a disposición de la planta. Casas (2012) señala que, las plantas absorben el agua a través de las raíces, en el suelo el agua y el aire ocupan espacios porosos, de tal manera que en un suelo en buenas condiciones de cultivo, agua y aire vienen ocupando cada uno la mitad de dichos espacios porosos, el aire ocupa los poros más grandes y el agua ocupa los poros medianos y más pequeños. Según FAO (2016), cuando un suelo esta encharcado el agua desplaza al aire se dice que el suelo está saturado, se denomina Capacidad de Campo (CC) a la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la saturación), las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo, a los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina por el Punto de Marchitez Permanente (PMP), a ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración.

El agua útil del suelo depende de la textura del mismo, de su estructura y del contenido de materia orgánica (Casas, 2012).

## **Infiltración y permeabilidad**

La infiltración es el proceso de entrada, generalmente vertical, del agua a través de la superficie del suelo, se determina mediante la velocidad de infiltración, que es la cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. La permeabilidad es la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de él y se evalúa mediante la conductividad hidráulica, que es la velocidad de paso del agua a través de un horizonte de suelo (Casas, 2012).

### **1.1.2 Propiedades químicas del suelo**

Entre los principales parámetros químicos del suelo tenemos: pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

#### **pH**

El pH es una mediada química simple, pero de las más importantes que se le pueden hacer al suelo, no sólo indica la acidez o alcalinidad de este, sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes, predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo y la retención de plaguicidas (Quiroga y Bono, 2012). El pH mide la acidez o basicidad del suelo, y depende de la concentración de ion  $H^+$  en este, cuanto más alta sea la concentración de iones  $H^+$  en relación a los otros cationes básicos del suelo, mayor será su acidez (Casas, 2012).

#### **Conductividad Eléctrica C.E.**

La C.E. es la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de la solución del suelo, es proporcional al contenido de sales ionizadas disueltas en la solución. Mediante la medición de ciertas características del suelo, como es el caso de la conductividad eléctrica, se permite establecer la factibilidad, la viabilidad y el buen desarrollo de un cultivo (Cortés-D *et al.*, 2013).

#### **Capacidad de Intercambio Catiónico CIC**

Procesos reversibles mediante el cual las partículas sólidas del suelo (orgánicas y minerales) adsorben iones de la fase acuosa y al mismo tiempo liberan otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas (Quiroga y Bono, 2012). Estos iones

están débilmente absorbidos, lo que les permite intercambiarse con la solución del suelo, constituyendo las reservas de nutrientes para las plantas (Casas, 2012).

### **1.1.3 Propiedades biológicas del suelo**

Las propiedades biológicas del suelo guardan relación con la compleja red de organismos que alberga y que pueden influir en la evolución del suelo y sus propiedades físicas y químicas, como en el caso de las lombrices que aumentan la tasa de infiltración, o el caso de la actividad microbiana que disminuye la materia orgánica del suelo debido a la mineralización, por su parte las propiedades físicas y químicas del suelo están interconectadas con las propiedades biológicas, por ejemplo la aireación, la materia orgánica del suelo o el pH, que afectan la actividad de muchos microorganismos en los suelos que a su vez realizan actividades relevantes en el ciclo del carbono y los nutrientes, por lo que los cambios en las propiedades del suelo debido al manejo pueden afectar significativamente sus propiedades biológicas (Villalobos y Fereres, 2016).

### **1.1.4 Calidad del Suelo**

Los procesos de degradación del suelo han impulsado el desarrollo de nuevos estudios, entre los que cabe citar el derivado de un término nuevo “calidad”, esta palabra, que aparece en los estudios de aire y agua, pero que a diferencia de lo que sucede en estos, su aplicación al suelo resulta más compleja (Jiménez Ballesta y González-Quiñones, 2006).

FAO (2016) señala que, la calidad del suelo es variable y los suelos responden de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él y a sus propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y dinámicas. La calidad del suelo se define como “la capacidad del suelo de funcionar, dentro de las fronteras del ecosistema y el uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental y fomentando el desarrollo de plantas, los animales y el ser humano”.

La calidad del suelo es una herramienta con base científica, internacionalmente aceptada en la evaluación, educación y comprensión de los recursos del suelo. Dos son los factores más importantes asociados con el concepto de calidad del suelo: 1) los suelos tienen propiedades y procesos inherentes y dinámicos, 2) la evaluación de la calidad del suelo debe reflejar las propiedades biológicas, químicas y físicas, los procesos y sus interacciones (Karlen *et al.* 2003).

García (2013) manifiesta que, el suelo es un recurso natural no renovable, al menos en una escala de tiempo humano. Tenemos por tanto la obligación de mantenerlo y conservarlo para presentes y futuras generaciones. Esto implica la necesidad de adaptarlo a diversos usos (agricultura, bosque, suelo urbano, industria, etc.), pero siempre tendiendo hacia un manejo sostenible de dicho recurso natural, de manera ordenada y controlada, manteniendo su calidad.

En este contexto, la calidad del suelo se presenta como la herramienta ideal para identificar o conocer el estado de degradación de un suelo en un momento dado, así como que medidas son necesarias para un mejor funcionamiento, ya que proporciona información sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Las propiedades del suelo que muestran mayor grado de sensibilidad al manejo del hombre son la materia orgánica, el fósforo asimilable, la estabilidad estructural, los agregados estables, el factor de estructura y la relación agua-aire (Crespo, 2009).

Es importante destacar la relevancia de los microorganismos y de su actividad en la calidad de un suelo, el suelo en estado natural está en un equilibrio dinámico con su medio ambiente, está fuertemente interactuando con la biosfera y está lleno de macro y micro fauna. La actividad biótica altera las propiedades del suelo, propiedades que soportan una forma de vida específica. Los principales cambios adversos en los atributos, conducen a reducir la función de su capacidad. Así, la degradación del suelo conlleva cambios adversos en propiedades y procesos con el tiempo. Estos cambios pueden ser de tipo natural o antrópico, Las perturbaciones naturales son bajas, permitiendo al suelo adaptarse a las nuevas condiciones, en tanto que las actividades antrópicas son más rápidas, perturban el delicado balance entre el suelo y su medio ambiente, y ocasionan alteraciones drásticas en las propiedades y procesos del suelo (Espinosa *et al.*, 2011).

### **1.1.5 Efectos de la mejora de las propiedades del suelo en su calidad.**

Como ya se menciona en párrafos anteriores, la mejora de las características de suelo, sean estas físicas, químicas o biológicas, contribuyen a mejorar la calidad de este. Mejora de las condiciones físicas como la conductividad hidráulica y los macroporos se traducen en una mayor actividad biológica de los microorganismos (Jaurixje *et al.*, 2013).



### **1.1.6 Propiedades del suelo y la fertilidad física, química y biológica**

El contenido de nutrientes de un suelo se conoce como fertilidad del suelo, se da el caso que, suelos fértiles son poco productivos, debido a limitaciones que presenta el suelo como: la acidez, sodicidad, salinidad, hidromorfismo, contenido de materia orgánica, capacidad de almacenamiento de agua entre otras (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

Huerta Lwanga *et al.* (2008) señalan que, la fertilidad del suelo, ya sea natural o fomentada por el agricultor, implica condiciones de presencia, cantidad y asimilabilidad de elementos nutritivos que hagan frente regularmente a las necesidades de las plantas, en sentido amplio, la fertilidad integra los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo al abastecer de agua, nutrientes y dando lugar a un sustrato para las plantas. La fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener el crecimiento de los cultivos, en definiciones más modernas se incluye la rentabilidad y la sustentabilidad de los agro-ecosistemas, y se divide la fertilidad en: química, física y biológica.

La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos, aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo. En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo mediante un análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización. Para Porta *et al.*(2003) la fertilidad química del suelo está relacionada directamente con la disponibilidad de nutrientes, estudia los elementos químicos en el suelo y su comportamiento en la nutrición vegetal.

La fertilidad física está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos. Porta *et al.* (2003) menciona que, la fertilidad física estudia la respuesta del sistema radicular frente al suelo como medio físico, y en el estudio del comportamiento del suelo por efectos agromecánicos. Se está muy lejos de proponer soluciones de carácter general para supera las condiciones física, a diferencia de los fertilizantes que permiten eliminar las carencias de la fertilidad química.

La fertilidad biológica se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos en todas sus formas. Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener

diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollada, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos (bioquímica de suelos) y ecología microbiana de suelos. Rodríguez *et al.* (2011) manifiesta que, para interpretar el estado de fertilidad del suelo en los diversos agroecosistemas es hoy en día una prioridad de muchos investigadores, la determinación de la actividad biológica que constituye una práctica muy común a nivel internacional, unida al uso de diversos organismos como indicadores biológicos, debido a que los procesos de agotamiento, degradación y desertización de los suelos producen la disminución evidente de la biota edáfica y de sus actividades beneficiosas para las plantas, el conocimiento de su actividad permitirá el uso más racional de los suelos y la propuesta de prácticas de manejo agroecológico que ayuden al mantenimiento del medio ambiente. Para Orozco *et al.* (2016) un elemento central para la evaluación de la calidad del suelo, son sus propiedades microbiológicas, ya que han mostrado ser de gran relevancia, debido a su influencia directa en las diversas funciones del suelo, por lo que una alteración de éstas, puede desencadenar cambios drásticos en las propiedades físicas y químicas del suelo. Según Porta *et al.* (2003), la actividad biológica resulta fundamental para el comportamiento del suelo, en especial de la materia orgánica, lo que tiene claras implicaciones en el ciclo de los distintos elementos.

### **1.1.7 La disponibilidad de nutrientes**

Desde que el hombre cultiva plantas se sabe que los suelos difieren ampliamente en cuanto a su fertilidad, desde hace relativamente poco tiempo ha sido cada vez más evidente que la fertilidad del suelo depende tanto de sus condiciones físicas como químicas, en este contexto el descubrimiento del siglo XIX, de que las plantas recibían la mayor parte de sus constituyentes del suelo, reveló que uno de los componentes de la fertilidad edáfica es el contenido de nutrientes, se debe tener en cuenta que el contenido total de nutrientes no es de importancia primaria, sino más bien lo es el contenido de nutrientes fácilmente solubles y accesibles.

El análisis del material vegetal representa una estrategia para determinar la disponibilidad de nutrientes de los suelos, un mayor contenido de elementos en las hojas, significa una mayor disponibilidad de estos elementos en el suelo. En principio, el concepto es adecuado ya que los nutrientes existentes en la planta originalmente deben haber estado disponibles en el suelo, pero esta técnica tiene sus desventajas, ya que el contenido mineral de la planta no

sólo depende de la disponibilidad de nutrientes del suelo sino que se ve afectado por otros factores (Mengel y Kirkby, 1987).

El contenido de elementos en la planta varia con la edad de estas, Generalmente los contenidos de N, P y K disminuyen con la edad de la planta, mientras que el contenido de Ca, Mg, Mn, Fe, Al y B a menudo aumenta, es decir hojas jóvenes muestran, contenidos relativamente altos de N, P y K, mientras que en las hojas más viejas es común observar una acumulación de Ca. (Mengel y Kirkby, 1987).

### **Factores que intervienen en la disponibilidad de nutrientes**

Solo una proporción de la cantidad total de nutrientes en el suelo puede ser tomada y utilizada por las plantas, la magnitud de esta fracción disponible depende de un rango de suelo, planta y factores ambientales, la disponibilidad de nutrientes puede ser alterada sustancialmente en la rizosfera por la exudación de la raíz y la actividad microbiana, la disponibilidad de nutrientes también depende del contenido de agua en el suelo, que influye en el movimiento de nutrientes (Marschner 2012).

Para Mengel y Kirkby (1987), el término disponibilidad de nutrientes implica el estado físico y químico del nutriente en el suelo así como las relaciones raíz-planta que incluyen el metabolismo vegetal, en este sentido la cantidad de un nutriente en un suelo no puede medirse y expresarse en términos cuantitativos, sin embargo, es necesario conocer los factores que contribuyen a la disponibilidad del nutriente y sus relaciones causales. Entre los más importantes estan:

- La intercepción e intercambio de contacto, es decir si los nutrientes necesitan ser transportados a las raíces de las plantas o si quedan en contacto con las raíces a medida que éstas descienden en el suelo.
- Flujo en masa y difusión, los nutrientes en el suelo pueden transportarse por dos mecanismos diferentes: flujo en masa y difusión. El flujo en masa ocurre cuando los solutos son transportados por el flujo convectivo del agua del suelo hacia las raíces de la plantas. La cantidad de nutrientes que alcanzan la raíz depende así de la velocidad de flujo de agua o del consumo de agua de la planta y del promedio de la concentración de nutrientes en el agua. La difusión se hace efectiva cuando la concentración en la proximidad de la raíz es más alta o más baja que aquella de la solución circundante, se dirige hacia la raíz cuando la

concentración en la superficie de la raíz es menor y se aleja de ésta cuando aumenta. La difusión sigue la Primera Ley de Fick.

- La solución del suelo, la movilidad de los nutrientes en el suelo depende considerablemente de la concentración de los nutrientes en la solución del suelo, la tasa de difusión hacia las raíces es generalmente mayor cuanto más alta es la concentración de los nutrientes en la solución del suelo.

- Intensidad y cantidad, las plantas deben ser adecuada y abundantemente abastecidas con nutrientes durante la totalidad de su período de crecimiento, es por esta razón que las concentraciones de los nutrientes en la solución del suelo deben mantenerse a niveles satisfactorios para el crecimiento vegetal. La disponibilidad de nutrientes depende por lo tanto no sólo de la concentración de nutrientes en la solución del suelo en un determinado momento sino también de la capacidad del suelo para mantener esa concentración.

- Crecimiento de las raíces y morfología, las raíces tienen tres funciones principales: servir de sistema de anclaje de la planta al suelo, absorber y translocar agua y nutrientes, y sintetizar fitohormonas y otros compuestos orgánicos. En el contexto que aquí se considerará, la absorción del agua y los nutrientes es de particular interés. La capacidad de las plantas de explotar el agua y los nutrientes del suelo depende mucho de la morfología de la raíz. Este término comprende la profundidad de las raíces, la ramificación de las mismas, el número de pelos radiculares, los ápices radiculares, etc.

- Exudación radicular y rizosfera, la zona inmediatamente vecina a las raíces de las plantas es de particular importancia para el ciclo biológico y la disponibilidad de los nutrientes, esta parte del suelo directamente influenciada por las raíces se denomina rizosfera y se extiende entre 1 y 2 mm de la superficie radicular. El efecto de la raíz en el medio adyacente se debe principalmente a la exudación de sustancias orgánicas e inorgánicas.

- Micorrizas, los hongos micorrizales se encuentran en el suelo en estrecha asociación con las raíces de las plantas, estos hongos pueden dividirse en dos grupos: las micorrizas ectotróficas y endotróficas. Las micorrizas ectotróficas cubren las raíces y las raicillas con un grueso manto de hifas, el escudo fúngico se extiende entre las células corticales de las raíces permitiendo así un contacto muy cercano entre el hongo y la planta. Estos hongos que pertenecen a los Basidiomicetos, son dependientes de los carbohidratos suministrados por las raíces. Los hongos de las micorrizas endotróficas pertenecen a los Ficomicetos y

Basidiomicetos, las hifas de estos hongos, en contraste con aquellas de las micorrizas ectotróficas, penetran las células de la corteza radicular formando una red interna de hifas, algunas hifas también se extienden hacia el suelo.

## **1.2 DEGRADACIÓN DEL SUELO**

La degradación de los suelos es un proceso inducido por las actividades del hombre y que disminuye la capacidad actual y/o futura de éstos, las principales causas de degradación son las actividades agrícolas e industriales, para el caso ecuatoriano en particular la degradación se da por el cultivo intensivo de flores. La agricultura se ha desarrollado gracias a diversos factores como la introducción de variedades, manejo del suelo, sistemas de riego, uso de agroquímicos, maquinaria, entre otros, esto provoca la incorporación al suelo de residuos orgánicos e inorgánicos, superar la capacidad del suelo para aceptar estos residuos significa un grave riesgo de degradación del suelo (Porta *et al.*, 2003).

Al respecto Martínez *et al.* (2008) señalan que, el manejo agrícola del suelos, con uso intensivo y en forma de monocultivo, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de C en formas orgánicas dentro del suelo, el carbón orgánico del suelo (COS) a través de los efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ha resultado ser el principal determinante de su productividad.

Ramírez *et al.* (2011) mencionan que la degradación del suelo es entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual o futura del suelo para sostener la vida humana. Para, Gibbs y Salmon (2015) es una reducción en la productividad de la tierra o suelo debido a la actividad humana, esto incluye una serie de cambios físicos, químicos y biológicos. Además Santana y Ulloa (2013) indican que el suelo es un recurso limitado y que de su uso inapropiado e implementación de pobres prácticas de manejo, resulta la degradación que se manifiesta en erosión hídrica, eólica, compactación, deterioro de la estructura, agotamiento de nutrientes, acidificación y salinización.

El aumento de la producción agrícola y la adopción de sistemas de producción intensiva como el monocultivo, ha ocasionado impactos negativos en los agroecosistemas, el suelo se empobrece al absorber la misma especie siempre los mismos nutrientes. Son sistemas con largos periodos del mismo cultivo, con bajo aporte anual de carbono y disminución de los contenidos de materia orgánica del suelo, estos efectos generan una progresiva disminución

de su fertilidad (Duval *et al.*, 2015), constatándose en muchos suelos disminución del contenido de MO, acumulaciones importantes de elementos aplicados con los fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos lo que provoca la degradación del suelo (Sepúlveda Varas *et al.*, 2012). La disminución en el carbono orgánico del suelo bajo sistemas de agricultura intensiva es una de las principales razones de las pérdidas de fertilidad del suelo, es un componente crítico del ecosistema (Bonanomi *et al.*, 2014).

Los niveles de materia orgánica originales del suelo, han sufrido variaciones en el tiempo por la acción antrópica, al sustituir la vegetación natural por cultivos productivos, se modificaron los ingresos y las salidas del carbón orgánico del suelo. Los cultivos agrícolas producen una reducción del ingreso de residuos vegetales en el suelo, con lo que se origina un aumento de la mineralización (aumento de temperatura y disminución de la protección física de la materia orgánica por laboreo) y se incrementa el riesgo de procesos de degradación del suelo (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

### **1.2.1 Recuperación del Suelo**

Los suelos pierden una parte significativa de su calidad por procesos degradativos que influyen negativamente en sus características, se entiende que recuperar suelos degradados es restablecer sus principales funciones biológicas, físicas y químicas, para lo que se puede utilizar diferentes métodos y estrategias entre estas la incorporación de enmiendas orgánicas como el compost y el vermicompost (Porta *et al.*, 2003).

A lo largo del tiempo una de las principales funciones del suelo ha sido la de reciclar los restos orgánicos incorporando una pequeña parte de ellos en el conjunto de las moléculas que constituyen el humus y descomponiendo el resto hasta formas elementales que son aprovechadas por las plantas, liberadas a la atmósfera o eliminadas por el agua de drenaje, entre los más importantes están (C, N, P y S), la adición antrópica de restos orgánicos al suelo era una consecuencia natural y lógica puesto que en el curso de sus transformaciones se producían resultados positivos en las condiciones físicas del suelo y en el incremento de la disponibilidad de nutrientes para la biomasa del suelo, en especial, para las plantas cultivadas de ahí que todas las culturas antiguas basaron el mantenimiento de la fertilidad de los suelos cultivados en los aportes periódicos de sustancias orgánicas procedentes de diferentes orígenes, el problema aparece cuando se modificaron tanto la cantidad de los aportes como su naturaleza, alterando el objetivo prioritario de la adición de restos orgánicos

a los suelos y se prioriza la eliminación de residuos generados en la cosecha antes que el incremento de la fertilidad para las cosechas (Macías, 2004).

Colmeiro (2006) manifiesta que, mantener los niveles óptimos de materia orgánica en los suelos favorece la actividad microbiana que es la encargada de ir liberando los nutrientes a medida que las plantas los necesitan. En tanto que Bonanomi *et al.* (2014) en su estudio sobre recuperación de la calidad de los suelo señalan que la disminución en el carbono orgánico del suelo SOC bajo sistemas de agricultura intensiva es una de las principales razones de las pérdidas de fertilidad del suelo, el SOC es un componente crítico del ecosistema del suelo, proporciona el sustrato para la descomposición de microbios que son una fuente de suministro de nutrientes minerales para la plantas, mejoran la estructura del suelo y la capacidad de retención de humedad.

Diferentes autores recomiendan las enmiendas orgánicas para recuperar la productividad de los suelos. Para Tejada *et al.* (2006) la adición de residuos orgánicos (compost de desmotadora de algodón triturada y el estiércol de aves de corral) mejoran las características de un suelo salino en condiciones de secano. En tanto que Santana y Ulloa (2013) presentan como alternativa de remediación de suelos sulfatados ácidos, la incorporación de enmiendas orgánicas como técnica de rehabilitación que permite la recuperación de algunas propiedades del suelo, como la formación de agregados y la aireación, entre otras.

Wong *et al.* (2009) mencionan que algunos recomiendan el empleo de enmiendas químicas como el yeso ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), conjuntamente con el material orgánico ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) en la remediación de suelos, mejora las tasas de respiración del suelo, Sastre-Conde *et al.* (2015) señalan que las técnicas biológicas y el uso de la materia orgánica como el estiércol, compost y abono verde han sido durante mucho tiempo conocidas por facilitar la recuperación de suelos agrícolas, en tanto que Macías (2004) señala que adicionar grandes cantidades de restos agrícolas, ganaderos, industriales o urbanos aporta elementos nutritivos al suelo e influye en la mejora de las propiedades del suelo. Pascual *et al.* (2000) señala que el empleo de los residuos sólidos municipales a tasas de 6,5 y 26  $\text{kg/m}^2$  es una potencial herramienta de remediación, ya que las sustancias húmicas, la biomasa microbiana y las tasas de respiración se incrementan en forma significativa.

Delgado-Moreno y Peña (2009) proponen como estrategias para recuperar los suelos agrícolas la adición de materia orgánica de los residuos de las actividades agrícolas en forma

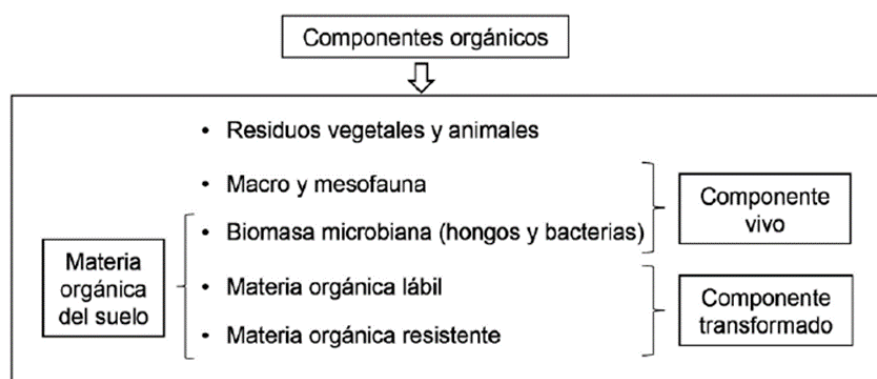
de compost y vermicompost, ya que son producidos en grandes cantidades y porque su aplicación restituye parte de materia orgánica a los suelos cuyo contenido se ha ido agotando.

Kanissery y Sims (2011) recomiendan la bioestimulación del suelo como un proceso para su recuperación, este procedimiento consiste en aumentar su actividad microbiana, para lo que se puede utilizar las enmiendas orgánicas conjuntamente con nutrientes como el carbono, el nitrógeno y el fósforo adicionados adecuadamente al suelo.

### 1.3 LA MATERIA ORGÁNICA Y SU IMPORTANCIA EN EL SUELO

La materia orgánica del suelo es una pequeña fracción que la constituyen los compuestos de origen biológico que se encuentran en él, por su parte, el edafón es la parte viva conformada por la flora y fauna del suelo, en tanto que el humus está compuesto por los restos postmorten de vegetales y animales que están sometido a constantes procesos de descomposición y transformación (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los componentes orgánicos presentes en el suelo conforman varias estructuras que poseen diferente complejidad, se encuentran los residuos vegetales y animales, los organismos vivos (macro y mesofauna edáfica y la biomasa microbiana, hongos y bacterias) y la fracción orgánica transformada con estructuras complejas (Figura 2), el contenido de MO depende del tipos de suelo y la región geográfica, pero no suele superar el 8% de la masa del suelo de 0 a 20 cm de profundidad y su principal componente es el carbono en un 58% ( $MO\% = C\% \times 1,724$ ), este nivel es bastante estable, por lo que es común referirse a la MO como carbono orgánico (CO) y viceversa, utilizando el coeficiente de conversión entre ambos (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).



**Figura 2: Componentes orgánicos presentes en el suelo**

Fuente: Álvarez y Rimski-Korsakov (2016)

La materia orgánica que contiene un suelo es el resultado del balance de entre las entradas y salidas de carbono del suelo, están reguladas por cuestiones ambientales y de manejo, la



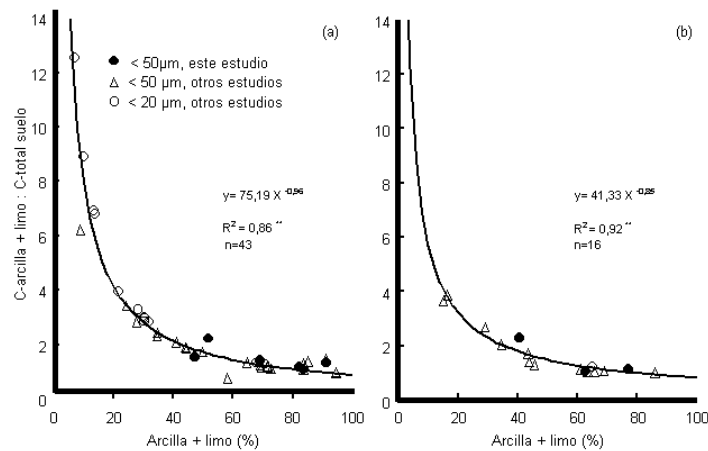
determinación de su valor es a través de un análisis de laboratorio y los valores de referencia que se utilizan para comparaciones y diagnóstico, dependen de las condiciones edafológicas y climáticas (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016). Los contenidos de MO del suelo se han utilizado para agruparlos en clases y se han propuesto clasificación (Cuadro 1).

**Cuadro 1: Contenido de materia orgánica del suelo**

Interpretación	Porcentaje de materia orgánica	Porcentaje de C orgánica
Muy bajos	< 2	< 1,2
Bajos	2 a 5	1,2 a 2,9
Medios	5 a 8	2,9 a 4,6
Altos	8 a 15	4,6 a 8,7
Muy altos	>15	> 8,7

Fuente: Fassbender y Bornemisza (1987)

Dependiendo del suelo, estos tienen una capacidad limitada para proteger física y químicamente la materia orgánica de la biodegradación en sus partículas de arcilla y limo, es por esto que las tasas a las cuales el carbono se mineraliza en el suelo, deberían estar relacionados con el grado de saturación de C en esas partículas. Tener conocimiento de la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) es esencial para entender el flujo del carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo. Matus *et al.* (2000), sugieren que las diferencias en cantidad y calidad de los aportes orgánicos al suelo dan las diferencias en el tamaño de los "pooles" orgánicos y las tasas de mineralización de C y N, en tanto que todavía persisten dudas sobre el efecto de la textura (% arcilla + limo) sobre el reciclaje del C en el suelo (Figura 3).



**Figura 3: Relación entre la concentración de C en las partículas de arcilla y limo: C orgánico total del suelo y el porcentaje de arcilla y limo en (a) suelos cultivados y (b) suelos de praderas.**

Fuente: Matus *et al.* (2000).

Se sabe que los suelos arcillosos retienen más MOS que suelos arenosos, a pesar de haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica. Las adiciones orgánicas típicamente se descomponen más rápidamente en suelos arenosos que en suelos arcillosos, incorporando iguales cantidades de MO, los suelos arcillosos generalmente contienen más MO que los suelos arenosos (Hassink, 1994).

En la descomposición de la materia orgánica en el suelo muchos factores intervienen. El contenido y calidad de la MO son factores importantes en el mantenimiento de la calidad y fertilidad del suelo, por esta razón, además del uso de los residuos de cosecha, para asegurar el retorno de la MO que es gradualmente perdida en las áreas cultivadas; se deben implementar otras estrategias, que promuevan el secuestro de carbono (Sodhi *et al.*, 2009).

En la materia orgánica del suelo se distingue una fracción lábil, que mantiene las características de la MO original y está disponible como fuente energética, así como una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas, las sustancias húmicas constituyen alrededor del 50 por ciento de la materia orgánica del suelo y son las más abundantes del medio terrestre (Martínez *et al.*, 2008).

La materia orgánica está constituida por elementos principales y por microelementos que las plantas los requieren en diferentes cantidades, las funciones físicas, químicas y biológicas del suelo se ven directamente afectadas por la calidad y la cantidad de materia orgánica que este contiene, constituyendo un indicador de su calidad (Porta *et al.*, 2003).

La materia orgánica cumple una serie importante de funciones en el suelo e influye de manera directa e indirecta sobre numerosas propiedades físicas, químicas, y biológicas. Desde épocas lejanas se plantea la necesidad de conservar la materia orgánica del suelo para hacer de este un medio más productivo, en los comienzos de la agricultura se vio que las plantas que crecían sobre las acumulaciones y desperdicios orgánicos tenían un mejor desarrollo, en la actualidad se conoce que la explotación agrícola de los suelos disminuyen el contenido de materia orgánica y nutrientes lo que afecta las propiedades físicas, químicas, biológicas y su potencial productivo (Milanés Figueredo *et al.*, 2005).

La materia orgánica del suelo es un complejo sistema de sustancias en un estado dinámico permanente, producido por la incorporación al mismo de residuos orgánicos, principalmente de origen vegetal, y en menor cuantía animal, en diferentes estados de descomposición, la

materia orgánica que se aporte al suelo es de donde todos los microorganismos obtendrán la energía para ordenar la vida del suelo (García, 2013).

La MO influye en las características del suelo, entre las características físicas más importantes tenemos la estructura, porosidad, movimiento de agua, facilidad de laboreo y prevención de procesos erosivos, en tanto que entre las características químicas están los procesos de intercambio iónico, estabilización de nutrientes y formación de complejos, dentro de las características biológicas están la formación de suelo, reserva de energía metabólica, liberación progresiva de macro y micro nutrientes, estimula e inhibe actividades enzimáticas, contiene reguladores de crecimiento y contribuye a la resiliencia del medio ambiente (Porta *et al.*, 2003).

Julca-Otiniano *et al.* (2006) señala que la materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. En cuanto a los efectos sobre las propiedades químicas, menciona que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo, favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. En tanto que su efecto sobre las propiedades biológicas es favorecer los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado. Álvarez y Rimski-Korsakov (2016) manifiestan que, entre los procesos químicos más importantes en los que interviene la materia orgánica del suelo están:

- Suministro de elementos nutritivos por la mineralización N, P, S y micronutrientes disponibles para las plantas.
- Estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador.
- En suelos arenosos y los que tiene arcillas con baja capacidad de cambio, favorece a la capacidad de intercambio catiónico CIC.
- La capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan compuestos de nitratos, sulfatos y fosfatos.
- Regula la disponibilidad de nutrientes, mediante la formación de sustancias orgánicas llamadas quelatos con cationes de valencia variable.

- La volatilización del S y N del suelo, procedentes de la misma materia orgánica que se descompone.
- Fenómenos de adsorción, como la inmovilización de plaguicidas.

Entre los procesos físicos más importantes en los que interviene la MO esta:

- Mejora la estructura, mediante la formación de agregados individuales, disminuyendo la agregación global y la plasticidad
- Mejora la infiltración del agua del suelo, se reduce la pérdida de agua por evaporación, mejora el drenaje en suelos arcillosos y favorece el desarrollo de las raíces.
- Ayuda en la retención del agua en los suelos arenosos.
- Influye en el color del suelo y regula su balance térmico, lo que favorece o dificulta la absorción de la energía solar.

### **1.3.1 Enmiendas Orgánicas**

Las enmiendas orgánicas son sustancias de origen vegetal, origen animal o una mezclas de estas, tratadas mediante algún proceso de estabilización que se aplican a los suelos con el objetivo principal de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos, cabe señalar que, la aplicación directa de las sustancias orgánicas frescas al suelo puede causar problemas.

Corvasce *et al.* (2006) indican que, los efectos benéficos más importantes de las enmiendas orgánicas, adicionadas al suelo, pueden ser atribuidos a las sustancias húmicas que contienen y a sus dos principales fracciones, los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos, estas fracciones de suelo, experimentan cambios a consecuencia de la aplicación de enmiendas orgánicas, ya sea en sus características estructurales o en el contenido de carbono.

Como alternativas de desarrollo sostenible, enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompots y los productos derivados de los mismos han adquirido un especial auge por su capacidad de restituir al suelo una cierta proporción de materia orgánica para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Vermicompost y compost, muestran potencial como acondicionador del suelo, que mejora directamente las características fisicoquímicas del suelo como materia orgánica, densidad aparente y CIC (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016).

Los agricultores tienen desconfianza al momento de utilizar enmiendas orgánicas, es sustancial al tiempo de incorporar la materia orgánica al suelo, conocer su procedencia, las características y los elementos que contiene, ya que puede resultar en un medio de contaminación del suelo (Porta *et al.*, 2003).

Suelos manejados con incorporación de enmiendas orgánicas, presentan mayores valores de respiración basal y biomasa microbiana lo que mejora las condiciones físicas del suelo (Jaurixje *et al.* 2013). La combinación de biofertilización y fertilización química, lombricomposta y aserrín de pino como acolchado influyó positivamente sobre la capacidad de almacenamiento de agua en un 10.36%, la capacidad de intercambio catiónico (83,05%), la materia orgánica (24,41%) y la biomasa microbiana del suelo (113,99%) (Orozco *et al.*, 2016).

La incorporación de enmiendas mejoran las características físicas del suelo como la densidad y la formación de agregados con lo que hay una mayor circulación de O<sub>2</sub> en el suelo, El suministro de O<sub>2</sub> es esencial para la absorción de P por raíces, lo mismo se aplica a otros nutrientes vegetales, la absorción de nutrientes aumenta con el contenido de carbohidratos de la raíz, ya que los carbohidratos actúan como fuente de energía para la absorción de iones durante la respiración. También hay que señalar que la tensión de O<sub>2</sub> a la que se da la absorción máxima de fosfato es bastante baja (2-3%) (Mengel y Kirkby, 1987).

### **1.3.2 Compost**

El compost es el producto que se obtiene de compuestos que formaron parte de seres vivos de origen animal y vegetal, constituye un grado medio de descomposición de la materia orgánica que puede ser utilizado como un buen abono orgánico para la tierra, se puede utilizar restos de cosechas, podas, restos de procesos agroindustriales, desechos urbanos y la adición de estiércol y purines de animales.

Se entiende por compost a la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre un proceso de fermentación y da un producto de color marrón oscuro con olor a humus, la palabra compost viene del latín componere, que significa mezcla o juntar (Saez, 2000).

De La Puente (2013) señala que la producción de compost es una práctica que se viene realizando desde tiempos inmemoriales ya que la naturaleza produce humus espontáneamente, los agricultores de diferentes culturas antiguas han emulado esta forma de producir humus por parte del medio natural descomponiendo restos orgánicos, menciona que

Columela en su obra del siglo I titulada «De los trabajos del campo» describía cómo “la aplicación de agua a mezclas apiladas de residuos de cosecha con excrementos animales producía calor y transformaba esa mezcla en un producto diferente, un abono orgánico”.

La producción de compost es un proceso biológico mediante el cual se convierte residuos orgánicos en materia orgánica estable, esto gracias a la acción de diversos microorganismos, las principales fuentes de materia orgánica para el compost incluyen el tratamiento de residuos agropecuarios, desechos de jardinería y cocina, residuos sólidos municipales y lodos (Tenecela, 2012).

La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes, el proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad (Roman, 2013).

Para Rubenacker *et al.* (2004) el compostaje de residuos orgánicos permite obtener un producto estabilizado, maduro y saneado, previo a su utilización agrícola, el compostaje es un proceso aeróbico en el que los microorganismos nativos del suelo, tanto termófilos como mesófilos, transforman la materia orgánica en un compost estabilizado y desinfectado, en la fase termófila se da la sanitización, cuando las temperaturas alcanzan 45-70 ° C, en tanto que durante la fase mesófila, también conocida como maduración, los compuestos orgánicos más recalcitrantes se degradan a un ritmo lento en un proceso similar a la humificación en los suelos, lo que conlleva la desaparición de la fitotoxicidad residual.

Saez (2000) menciona que debido a su materia orgánica, el compost posee la facultad de enmendar las características del suelos, en lo que a características físicas se refiere, contribuyendo a la estabilidad de su estructura, aumentando su capacidad de retención de agua, mejorando su porosidad y aumentando la infiltración y la permeabilidad, en tanto que la acción química del compost se manifiesta por su capacidad de intercambio catiónico superior a la de cualquier arcilla, suministra a las plantas elementos básicos y oligoelementos en porcentajes relativamente pequeños pero muy equilibrados, además, por efecto de su oxidación lenta, produce gas carbónico, lo que contribuye a solubilizar algunos elementos minerales del suelo, facilitando la asimilación de las plantas, por otro lado la actividad biológica del suelo se ve favorecida por el aporte de un número importante de bacterias y sobre todo su riqueza en materia orgánica la que favorece el desarrollo de los microorganismos del mismo suelo, que con su actividad estimulan el crecimiento vegetal.

Existen diferentes métodos de compostaje, el objetivo principal en cualquier sistema o método de compostaje, es la obtención de un producto estable y limpio de microorganismos patógenos, en general se podría decir que los diferentes procedimientos de compostaje existentes no son más que variaciones tecnológicas o comerciales de un mismo método, se distinguen dos grandes categorías de sistemas de compostaje, los sistemas abiertos o en pilas al aire libre y los sistemas cerrados o en fermentadores (Saez, 2000).

Delgado (2012) Señala que un correcto proceso de compostaje implica el paso por una etapa termófila en la que se induce a la producción inicial de fitotoxinas, se producen cantidades importantes de calor alcanzándose temperaturas de 30-70°C, que decrece rápidamente hasta 35-40°C durante la siguiente etapa de estabilización, si la temperatura alcanzada en la primera etapa es insuficiente, el desarrollo del proceso es desfavorable, ya que la producción metabólica de fitotoxinas caracteriza la etapa inicial de descomposición de la materia orgánica fresca.

Si tenemos en cuenta que en un proceso de compostaje los responsables de la transformación son los microorganismos, todos aquellos factores que puedan limitar su desarrollo serán limitantes también del propio proceso, los parámetros que afectan a sistemas biológicos son muchos, entre los más importantes tenemos: temperatura, humedad, pH, aireación, y otros relativos a la naturaleza del sustrato. El factor más importante a tener en cuenta para la calidad del compost es su madurez, existen muchos métodos para medir la madurez del compost (Cuadro 2), tales como: métodos físicos, químicos, microbiológicos, de análisis espectroscópicos y grado de humificación (Delgado, 2012).

**Cuadro 2: Clasificación de los métodos de evaluación de la madurez del compost**

Métodos de evaluación de la madurez en compost.	
Métodos Físicos	- Olor - Temperatura - Color
Métodos Químicos	- Relación C/N: - Relación C/N en el extracto acuoso - Relación N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N-NO <sub>3</sub> en extracto acuoso - Variación del contenido en polisacáridos - Presencia de compuestos reductores - Contenido de cenizas - Determinación de sustancias orgánicas degradables - Grado de descomposición - Variación del pH - Análisis del contenido en Ácidos Volátiles - Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) - Porcentaje de descomposición
Métodos Microbiológicos	- Indicadores de actividad microbiana - Métodos respirométricos - DQO - DBO - Test de Germinación - Test de Crecimiento
Métodos de análisis espectroscópicos	- GC-MS - FTIR
Métodos en el grado de humificación	- Cromatografía Circular - Extracción de sustancias húmicas - Densidad óptica (DO) en extracto de pirofosfato sódico

Fuente: Delgado (2012)

Hernández (2011) manifiesta que, las ventajas del compostaje de residuos y estiércoles en comparación con la aplicación directa se pueden resumir en:

- Eliminación de patógenos y malas hiervas.
- Estabilización microbiana.
- Reducción del volumen y la humedad.
- Eliminación y control de olores.
- Facilidad de almacenamiento, transporte y uso.
- La producción de fertilizantes de buena calidad o sustrato.

Sin embargo, los inconvenientes se derivan de:

- El costo de instalación y gestión.
- Exigencia de un agente de carga.
- Exigencia de grandes áreas para el almacenamiento y la operación.

Laich (2011) señala que, la utilización de un compost provoca diversos efectos benéficos como: aporta nutrientes y microorganismos beneficiosos al suelo, estimula el desarrollo



radicular e incrementa la microbiota rizosférica con efecto biocontrolador. Al incorporar al suelo el compost, se introduce una alta variedad de microorganismos implicados en el ciclo de diferentes nutrientes y en procesos de biocontrol de fitopatógenos. También es importante el rol que cumple el agregado de compost en la recuperación de suelos, cuya microbiota ha sido afectada por la adición repetitiva de determinados compuestos fitosanitarios, en este proceso el compost contribuye a la “reinoculación” de microorganismos implicados en el ciclo de los nutrientes.

El compost mejora las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobreexplotación, sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, pueden variar según su manejo, procedencia, madurez y contenido de humedad, muchas sustancias encontradas en compostas inmaduras pueden producir reacciones negativas en el desarrollo de las plantas y en los agroecosistemas, las cuales depende de la fuente del material empleado y del proceso de compostaje. En los casos específicos de Perú y Ecuador, no se cuenta con estándares de calidad del compost para los diferentes usos, en tanto que otros países sí disponen dentro de su legislación de normativas que establecen los requerimientos mínimos para la producción del compost y el uso que se le puede dar, dependiendo de su calidad, entre las más conocidas tenemos: La norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011 (Cuadro 3 y Cuadro 4), La Norma Chilena NCh2880 (Cuadro 5), Norma Técnica Colombiana NTC 5167 (Cuadro 6) , El Reglamento Austriaco de Calidad del Compost (Cuadro 7).

**Cuadro 3: Características generales que deben cumplir los tipos de composta (Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011)**

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6,7 - 7,5	6,5 - 8,0	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Relación C/N	<15	<20	<25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma $\leq 7\%$ : portará la leyenda "Composta - mejorador de suelos". Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda "Composta para nutrición vegetal" y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	$\leq 10\text{mm}$	$\leq 30\text{ mm}$	
Fitotoxicidad (IG)	$\text{IG} \geq 85\%$	$\text{IG} \geq 75\%$	$\text{IG} \geq 60\%$
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad $\geq 50\text{ cm}$	$\leq 10^\circ\text{C}$		$\leq 15^\circ\text{C}$

Fuente: Delgado (2012)

**Cuadro 4: Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg-1 en base seca, que deben cumplir los tipos de composta (Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011)**

Nivel – tipo	As	Cd	Cr total	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nivel 1 - tipo A	0,1	0,7	70	70	0,4	25	45	200
Nivel 2 - tipo B	0,7	1	70	150	0,7	60	120	500
Nivel 3 - tipo C	2	3	250	400-500	3	100	200	1200-1800

Fuente: Delgado (2012)

**Cuadro 5: Requisitos físico-químicos para las clases A y B de compost (Norma Chilena NCh 2880)**

Parámetro	Clase A	Clase B
	uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general	uso en la agricultura en general
N total % (MS)		0,5
Olor	Olor característico, sin olores desagradables	
Humedad % (base humedad)		35 -45
pH		5 - 8,5
Materia orgánica %		≥ 20
C.E. mS/m	3	8
Relación C/N	≤ 25	≤ 30
Arsénico [mg/kg MS ]	15	20
Cadmio [mg/kg MS ]	2	8
Cromo [mg/kg MS ]	120	600
Cobre [mg/kg MS ]	100	1000
Mercurio [mg/kg MS ]	1	4
Níquel [mg/kg MS ]	20	80
Plomo [mg/kg MS ]	100	300
Zinc [mg/kg MS ]	200	2000

Fuente: SINIA (2005)

**Cuadro 6: requisitos de calidad para productos utilizados como abonos orgánicos y enmiendas orgánicas (Norma técnica Colombiana NTC 5167)**

Clasificación del Producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
Abono Orgánico	Producto Sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales y/o vegetales, o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<p>Pérdidas por volatilización % *</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de cenizas, máximo 60 % *</li> <li>• Contenido de humedad: *</li> <li>- Para materiales de origen animal, máximo 20%</li> <li>- Para materiales de origen vegetal, máximo 35 %</li> <li>- Para mezclas, el contenido de humedad está dado por el origen del material predominante.</li> <li>• Contenido de Carbono Orgánico Oxidable Total: Mínimo 15 %</li> <li>• N total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%</li> <li>• Relación C / N</li> <li>• Capacidad de Intercambio Catiónico: Mínimo 30 meq/100 g</li> <li>• Capacidad de Retención de Humedad: Mínimo su propio peso</li> <li>• pH mayor de 4 y menor de 9.</li> <li>• Densidad máxima 0,6 g /cc</li> </ul> <p>* Límites máximos de metales pesados en mg/Kg (ppm):                      Arsénico (As) 41                      Cadmio (Cd) 39                      Cromo (Cr) 1200                      Mercurio (Hg) 17                      Níquel (Ni) 420                      Plomo (Pb) 300</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se indicará la materia prima de la cual procede el producto</li> </ul>	Contenido de Nitrógeno Total (% N) Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) Contenido de cenizas. (%) Humedad máxima (%) pH Densidad (g/cc) Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 g) Capacidad de Retención de Humedad (%)

\*La suma de estos parámetros debe ser 100

Fuente: Ricardo y Reyes (2004)

**Cuadro 7: Concentraciones máximas de elementos en mg•kg<sup>-1</sup> en materia seca (MS), que deben cumplir los tipos de composta. Reglamento Austriaco de calidad del compost (Kompostverordnung, BGBl, 2001)**

Parámetro	Calidad A+	Calidad A	Calidad B
	uso en la agricultura orgánica o en la agricultura en general	uso en la agricultura en general	no uso en la agricultura, usos alternativos
Cadmio (Cd) [mg/kg MS ]	0,7	1	3
Cromo (Cr) [mg/kg MS ]	70	70	250
Cobre (Cu) [mg/kg MS ]	70	150	500
Mercurio (Hg) [mg/kg MS ]	0,4	0,7	3
Níquel (Ni) [mg/kg MS ]	25	60	10
Plomo (Pb) [mg/kg MS ]	45	120	200
Zinc (Zn) [mg/kg MS ]	200	500	1800

Fuente: Binner *et al.* (2016)

El reglamento Austriaco de calidad del compost, toma en cuenta otros parámetros como: sólidos volátiles > 20% MS (materia seca), la conductividad eléctrica C.E. < 4 mS/cm

### 3.5.2 Vermicompost

Saavedra (2007) señala que la influencia de las lombrices es conocida desde el Antiguo Egipto, los faraones la consideraban “animal sagrado”, Aristóteles las definió como “los intestinos de la tierra”, los romanos también las apreciaban, en el siglo XIX, Darwin explica la verdadera función de estos invertebrados en su libro “La formación de la Tierra Vegetal por la acción de las Lombrices” publicado en 1881, y sería el inicio de una serie de investigaciones que han transformado al vermicompost en un productos importante para mejorar la productividad de los suelos.

El vermicompost se lo conoce también como humus de lombriz, siendo el primero su nombre técnico, consiste en la crianza de lombrices de manera intensiva, es un método que combina la composta natural con la utilización de lombrices, y es conocido como lombricultura, que se define como “el uso de la lombriz de tierra para la descomposición de los desechos orgánicos generando un producto denominado vermicompost o humus de lombriz”, es una alternativa ecológica que se la utiliza desde hace pocos años como opción para la solución de problemas ecológicos (Tenecela, 2012).

Rubenacker *et al.* (2004) manifiestan que, el vermicompostaje es un proceso que involucra la adición de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) que aceleran la conversión de los residuos orgánicos; estimulando los procesos de mineralización y humificación, obteniendo un producto final estable y maduro.

La producción de vermicompost es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, por medio de la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina, es una práctica de biotransformación que aprovecha varias de las ventajas de la actividad de algunas especies de lombrices, que aceleran la descomposición y humifican la materia orgánica, ya sea de modo directo alimentándose de los desechos o de manera indirecta estimulando la actividad microbiana (Saavedra, 2007).

El vermicompostaje es un proceso biooxidativo mediado por las lombrices de tierra y microorganismos, las lombrices son responsables de la fragmentación del sustrato, en tanto que los microorganismos tanto en el estómago de la lombriz como en la materia prima, son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, de manera que las lombrices de tierra modifican directamente las propiedades físicas del material y modifican

indirectamente sus propiedades químicas, el vermicompostaje se lleva a cabo en un rango estrecho de temperatura (25-40 °C), con pH neutro y alta humedad (70 a 90%) con la finalidad de sostener una gran población de gusanos, la combinación de los dos procesos; compostaje y vermicompostaje, permiten obtener un producto final mejorado, en el sistema de compostaje sanitización y eliminación de compuestos tóxicos seguido del sistema de vermicompostaje que reduce rápidamente el tamaño de partícula y aumenta la disponibilidad de nutrientes (Tognetti *et al.*, 2005).

La producción de vermicompost es una tecnología utilizada para la conversión de residuos orgánicos en fertilizantes orgánicos que tiene un bajo costo, la interacciones entre las lombrices y los microorganismos se producen en el intestino del gusano, las lombrices pueden consumir prácticamente todos los tipos de materia orgánica compostada, en un día pueden comer una cantidad iguales a su peso corporal, el humus de lombriz es rico en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (El-Haddad *et al.*, 2014).

En el proceso de elaboración de humus de lombriz se deben tomar en cuenta muchos factores que son determinantes como: la naturaleza, característica y acondicionamiento de la materia orgánica de partida, humedad, temperatura, aireación, densidad poblacional y enemigos de las lombrices (Saavedra, 2007).

Al final del proceso el vermicompost debe presentar ciertas condiciones físicas (Cuadro 8), un contenido de materia orgánica parcialmente humificada, contenidos variables de nutrientes y fitoreguladores de crecimiento, pudiendo ser almacenado sin posteriores tratamiento (Saavedra, 2007).

**Cuadro 8: Condiciones físicas mínimas del vermicompost**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>
Materia orgánica (%)	40
Humedad (%)	30 – 40
Relación Carbono/Nitrógeno	< 20
Tamaño de partículas	90% pasan malla 25 mm.

Fuente: Saavedra (2007)

Según BOE (2013), en España, las enmienda orgánica vermicompost, producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas, debe cumplir con las siguientes condiciones físico químicas (Cuadro 9).

**Cuadro 9: Condiciones físico químicas para vermicompost**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>
Materia orgánica total (%)	30
Humedad máxima (%)	40
Relación Carbono/Nitrógeno	< 20
Tamaño de partículas	90% pasan malla 25 mm.

Fuente: BOE (2013)

#### **1.4 EL FÓSFORO EN EL SUELO**

Los bajos niveles de P disponible en el suelo y, consecuentemente, la baja producción agrícola sufrieron un cambio a partir de 1843 con el inicio de la fabricación y comercialización de los abonos fosfatados, la utilización de estos, y posteriormente, el uso de residuos orgánicos de ganadería ha conducido al aumento del contenido en P del suelo y paralelamente al de la producción agrícola, esto ha causado en muchos casos una sobre fertilización y elevadas concentraciones de P en el suelo, a lo que se atribuye la actual eutrofización acelerada de los sistemas acuáticos, de este modo, para evitar las pérdidas de P del suelo a las aguas y gestionar agrónomica y ambientalmente la fertilización fosfatada, la identificación de “niveles críticos” de P en el suelo es fundamental, además del uso de las buenas prácticas agrícolas que disminuyan la escorrentía y la erosión (Monteiro, 2005). Los investigadores sugieren combinar, la fertilización con P mínima, pero agrónomicamente adecuada, con mejoras en la eficiencia de la absorción de P en la planta, pudiendo ser esta la mejor manera de minimizar el riesgo ambiental asociado con las adiciones de P al mismo tiempo que se preserva las condiciones para la producción agrícola del suelo (Erich *et al.*, 2002).

El movimiento del P en el suelo se da por difusión, o sea diferencia de concentraciones, lo, que implica un movimiento a muy cortas distancias (~2 mm) para llegar a las raíces, en consecuencia, una planta puede absorber P sólo del suelo que está en contacto con las raíces, siendo fundamental una buena exploración radical para asegurar el acceso a este nutriente (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

Para Khouri (2005) la carencia de fósforo en las plantas se manifiesta en una disminución de su tamaño, retrasos en la maduración, malformación de semillas y dificulta procesos metabólicos. Fernández (2007) señala que el fósforo es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la interacción del fósforo con diferentes nutrientes del suelo es de gran importancia en la absorción, traslocación y utilización de este elemento

por el vegetal, niveles inadecuados de fósforo puede provocar severos trastornos fisiológicos en las plantas.

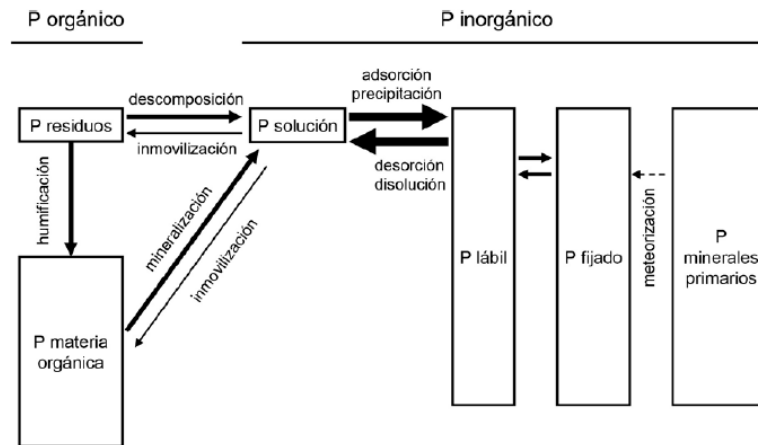
Este elemento juega un papel esencial en todos los procesos metabólicos de los seres vivos, procesos bioquímicos especializados como la respiración en los mamíferos, la fotosíntesis en las plantas, no serían posibles sin unos niveles de P adecuados en los suelos, de aquí la gran importancia que presenta el P, siendo una limitante para el desarrollo de las plantas muy superior al del calcio e incluso al del potasio (Medina, 2005). Coyne (2000) indica que, el fósforo es el segundo nutriente inorgánico después del nitrógeno que necesitan las plantas para su desarrollo, es esencial del ARN, el ADN, el ATP y los fosfolípidos, no es un componente abundante del ambiente y en el transcurso del cultivo si no hay incorporaciones de fertilizantes se agotan las reservas.

Para Fernández (2007), el fósforo es uno de los diecinueve elementos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, una baja presencia de este elemento condiciona la destrucción del ácido galacturónico componente principal de la pectina de las células vegetales, ello permite que los microorganismos puedan ingresar fácilmente al interior de la planta lo que se refleja en una baja productividad, en la mayoría de los suelos es necesario aplicarlo como fertilizante para lograr niveles óptimos de producción ya que la mayoría de los suelos están deficientes en formas de fósforo asimilables, la mayor parte del fósforo aplicado es rápidamente fijado en el suelo en fracciones que están pobremente disponibles por las raíces de las plantas, su interacción con diferentes nutrientes del suelo es de gran importancia en la absorción y traslocación de estos, una nutrición inadecuada de fósforo puede provocar severos trastornos fisiológicos en las plantas.

#### **1.4.1 Fuentes y formas del P en el suelo**

El fósforo del suelo tiene su origen en la roca madre, se encuentra en forma orgánica e inorgánica (Figura 4), en la forma inorgánica puede encontrarse en solución, adsorbido a los coloides del suelo, precipitado con calcio, hierro o aluminio, o en los minerales primarios, el fósforo que esta adsorbido o precipitado es posible que no esté en equilibrio con el fósforo de la solución del suelo, por esto se lo separa en dos componentes: lábil y fijado, en el componente orgánico se distinguen una fracción más lábil de fácil mineralización y otra más resistente a la degradación microbiana. La planta absorbe el P que está en solución, más el que puede pasar a la solución durante el ciclo del cultivo (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).





**Figura 4: Diferentes formas de fósforo en el suelo**  
Fuente: Álvarez y Rimski-Korsakov (2016)

Diferente a lo que sucede con el nitrógeno que puede ser incorporado al suelo por fijación bioquímica por microorganismo, el fósforo solo puede tener su origen en la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización y constituye alrededor del 0,1% de la corteza terrestre, es admitido por los geólogos que los sedimentos de origen orgánico son los mayores depósitos de fosfatos, estos pueden haberse formado en el fondo del mar como resultados del depósitos de los cuerpos de organismos marinos (Navarro y Navarro 2003)

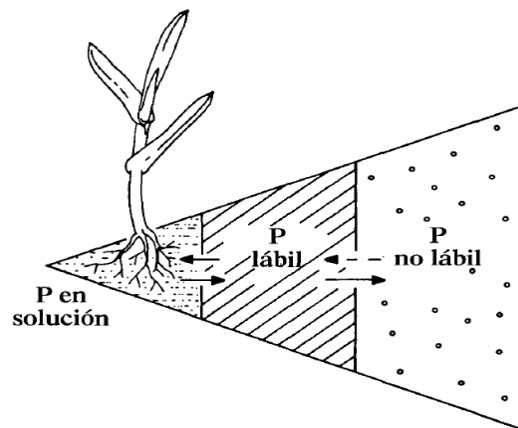
Medina (2005) señala que, el fósforo puede presentarse de diferentes formas en el suelo, las cantidades y formas en las que varían depende de los factores de formación del suelo, el conocimiento sobre la procedencia, evolución y comportamiento de cada una de estas formas de P es importante desde el punto de vista de la nutrición de los cultivos, ya que no todas están disponibles para los mismos y en ocasiones estas formas que en un inicio están no disponibles, pasan a serlo a través de procesos propios del suelo, o con la participación de microorganismos, los químicos del suelo no han encontrado una terminología general que agrupe las diversas formas en que se encuentra el fósforo en el suelo.

El fósforo es un elemento relativamente estable en el suelo, lo que resulta en una baja disponibilidad para las plantas a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos en el suelo, esto se evita en parte con la adición de fertilizantes fosfatados, las plantas lo absorben en forma de ácido fosfórico y es una fuente de energía muy importante en los procesos bioquímicos (Fassbender y Bornemiza, 1987).

Para Mengel y Kirkby (1987), desde el punto de vista de la nutrición vegetal, son importantes tres fracciones del fosfato del suelo:

1. Fosfato en la solución de suelo
2. Fosfato fácilmente disponible o lábil
3. Fosfato no disponible.

De estos, la primera fracción se define claramente y es el fosfato disuelto en la solución de suelo, la segunda fracción es el fosfato sólido que se mantiene en las superficies de las partículas, de modo que está en equilibrio rápido con el fosfato de la solución y se denomina fosfato fácilmente disponible o lábil, en tanto que la tercera fracción es el fosfato no disponible o insoluble, el fosfato en esta fracción puede liberarse sólo muy lentamente a la fracción lábil (Figura 5)



**Figura 5: Esquema de las tres fracciones más importantes de P en el suelo para la nutrición vegetal**  
Fuente: Mengel y Kirkby (1987)

El proceso definitivo por el cual los fosfatos orgánicos se vuelven disponibles es la ruptura del fosfato inorgánico por medio de una reacción fosfatasa. El principio de esta reacción es la hidrólisis, la enzima fosfatasa es producida por las raíces de plantas superiores así como por numerosos microorganismos (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*), las fosfatasas son enzimas que "mineralizan" fosfatos de las fitinas, ácidos nucleicos y fosfogliceratos. La cantidad de fosfato presente en la solución de suelo es muy baja (de 0.3 a 3 ppm de P) en comparación con el fosfato adsorbido, los fosfatos adsorbidos excede al fosfato de la solución del suelo por un factor de entre  $10^2$  y  $10^3$ , Los iones más importantes que contienen P en la solución de suelo son  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . La relación entre estas dos especies iónicas en la solución de suelo depende del pH (Mengel y Kirkby, 1987).

Las rizobacterias presentes en el suelo y que promueven el crecimiento de las plantas, utilizan diferentes estrategias para aprovechar las formas no disponibles de fósforo, esto

favorece a la disponibilidad del el fósforo que puede ser absorbido por las plantas (Gupta *et al.*, 2015).

La nutrición de las plantas con fósforo se ve favorecida por los microorganismos que desempeñan un papel esencial al aumentar su disponibilidad, esto a través de la liberación de fosfatos orgánicos e inorgánicos del suelo, por solubilización y mineralización del fósforo (Bhattacharyya *et al.*, 2016). Otros organismos como los hongos micorrízicos arbusculares, que están en todos los suelos, colonizan las raíces de muchas especies de plantas, pudiendo aumentar el crecimiento y la reproducción vegetal, potenciando la absorción de nutrientes en el suelo, especialmente los inmóviles como el fósforo (Dasgan *et al.*, 2012).

La deficiencia de fósforo afecta a distintos procesos de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos con lo que se inhibe la síntesis de ARN, se acumulan en la plantas compuestos que contienen nitrógeno, como arginina, glutamina, prolina, lisina, asparagina e iones amonio y no se establece el equilibrio adecuado entre azúcares y almidón, los síntomas visuales más comunes de la deficiencia de fósforo son la coloración morada en los márgenes de las hojas, crecimiento lento y retraso de la maduración y enrollamiento de las hojas (Fernández, 2007).

Existen actualmente numerosos métodos para medir el fósforo disponible para los cultivos. Monteiro (2005) señala que hay alrededor de veinte métodos, y sólo en Europa, están en uso diez métodos distintos, este hecho ha llevado a no poca confusión y diversas dificultades cuando se comparan resultados y se pretende adoptar una estrategia común de gestión agroambiental del P del suelo, por otra parte la elevada variabilidad entre laboratorios en los resultados para un mismo método, las diferentes clases de fertilizantes que se dispone en cada país provocan dificultades al momento de recomendar dosis de fertilización de fósforo.

El fósforo del suelo disponible para la nutrición vegetal, así como el de las pérdidas de P en disolución, está controlada fundamentalmente por el equilibrio que se establece entre la concentración de fosfato en la fase sólida y la concentración de éste en la disolución, a medida que el P es removido de la disolución, por ejemplo, por absorción por las plantas, el factor capacidad es responsable del mantenimiento de una concentración adecuada de P en disolución a través de la desorción, en tanto que si la concentración de P en disolución aumenta, debido por ejemplo al abonado, se establece un nuevo equilibrio, aumentando la cantidad de P asociado a la fase sólida a través del proceso de sorción. La sorción es el mecanismo de retención de ortofosfato por la fase sólida del suelo, en tanto que la desorción

puede ser definida como el proceso inverso a la sorción, es decir, el paso a la disolución del suelo de las moléculas/iones previamente sorbidos por la fase sólida (Monteiro, 2005).

#### **1.4.2 Adsorción de P en el suelo**

En los párrafos anteriores se señala la importancia del P para el desarrollo de las plantas, por lo que, es muy común la aplicación de altas cantidades de fertilizantes fosfatados al suelo, el P contenido en estos fertilizantes generalmente se encuentra en forma de ortofosfatos y su eficiencia frecuentemente es baja; esto se debe a que el ortofosfato tiende a ser inmovilizado “fijado” en el suelo mediante reacciones de precipitación y adsorción, pero es difícil diferenciar la porción que se precipita y la que se adsorbe, por lo que se utiliza el término “sorción” para incluir las dos porciones.

Los niveles bajos de P disponible en el suelo se asocia a: contenidos bajos de P total, alta estabilidad de los compuestos fosfatados del suelo que causa la baja solubilidad y lenta liberación de formas disponibles para la planta y a una baja intensidad de la mineralización de los compuestos orgánicos fosfatados. En gran medida la capacidad del suelo para retener cationes y aniones solubles depende del coloide y de la carga del ion, la retención aniónica en los suelos tropicales está dada por su contenido de óxidos hidratados de aluminio ( $Al^{+3}$ ) y de hierro ( $Fe^{+3}$ ) y pH bajo, y se denominan suelos de carga variable debido a que retienen con más facilidad los aniones que los cationes (Daza-Torres *et al.*, 2008).

En condiciones favorables, en ausencia de factores limitantes como agua o nitrógeno, la absorción o aprovechamiento de los fertilizantes fosfatados solubles en el ciclo del cultivo varía entre un 10 y 30%, esto se debe a la interacción del P con el suelo y está dado principalmente, por el contenido y tipo de arcilla y el pH, otro factor que influye directamente sobre la recuperación del fertilizante por las plantas es la forma de aplicación (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

La materia orgánica favorece la disponibilidad del fósforo en el suelo ya que contribuye a disminuir la retención de fosfatos, debido a que las enmiendas orgánicas inhiben al aluminio y limitan la fijación de P. (Daza-Torres *et al.*, 2008), la descomposición y la mineralización de la materia orgánica es causada por los microorganismos, liberando P a la solución del suelo, observándose mayor biomasa microbiana y mineralización de P en suelo que se aplicaron MO; otros microorganismos como las micorrizas, pseudomonas y azospirillum mejoran el aprovechamiento del P edáfico. De todas formas, es importante destacar que la

mayor contribución de P para los vegetales proviene de las fracciones inorgánicas (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

El fenómeno de adsorción es de gran importancia, una alta cantidad de los fertilizantes aplicados al suelo son fijados y están menos disponibles para las plantas, generándose pérdidas económicas para los agricultores, para evaluar la adsorción de fosfatos se han utilizado las isotermas de adsorción clásicas desarrolladas para describir la adsorción de gases a superficies sólidas, entre las más utilizadas la de Freundlich y Langmuir (Fassbender, 1966). Para describir y entender la relaciones entre la cantidad de P adsorbido por unidad de peso de suelo y la concentración de P en la solución, se han utilizado la ecuaciones de Freundlich y Langmuir (Olsen y Watanabe, 1957).

Estas ecuaciones tienen la forma general:

$$q = f(c)$$

Donde (q) es la cantidad de P adsorbido y es una función (f) de la concentración de P en la solución (c).

La ecuación de Freundlich se representa por:

$$q = ac^b$$

Donde (a) y (b) son constantes.

La ecuación de Langmuir incluye el término Máxima Capacidad de Adsorción y esta descrita por:

$$q = \frac{abc}{1 + ac}$$

Donde (q) es la cantidad de P adsorbido, (c) la concentración de P en la solución y (b) es la Máxima Capacidad de Adsorción.

### **1.4.3 Respuesta del suelo a aplicaciones de fósforo**

La reducida disponibilidad de fósforo (P) en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos a nivel mundial, El fósforo es relativamente inmóvil en el suelo y su disponibilidad decrece con la profundidad (Lynch, 2007). Con respecto a la respuesta del maíz a aplicaciones de P y K, Serna *et al.* (2011) señalan que se presentan diferencias significativas en la variable altura de plantan, obteniendo un incrementó en un 2,1% con la dosis mayor de P, en tanto que no hay

diferencias significativas para la aplicación de K. Mansilla (2014) manifiesta que hay un incremento de la materia seca con mayores niveles de P aplicados en el maíz. Delgado *et al.* (2004) señalan que, hay una relación significativa entre incremento de materia seca y el P absorbido en un período determinado, y que no se observaron relaciones significativas entre incrementos de N y K con incrementos de materia seca en diferentes períodos del crecimiento, la absorción de P puede ser limitada por déficits hídricos. Hirzel *et al.* (2004) indican que, se observó una respuesta en producción de materia seca frente a dosis crecientes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

En la disponibilidad y efectividad del fósforo en la nutrición vegetal inciden en gran medida las interacciones de este nutriente con otros elementos del suelo, con el nitrógeno es la coprecipitación de fosfato y amonio, dando lugar a gran número de compuestos de fósforo y amonio, la interacción con el calcio es fundamentalmente para la formación de fosfatos de calcio de muy distintas solubilidades a la retención de fósforo en las superficies de carbonato cálcico, en suelos ácidos se produce la precipitación de fosfatos de aluminio, altamente insolubles, lo que conduce a concentraciones muy bajas de fosfatos en el suelo, el ion fosfato queda retenido en las superficies de óxidos e hidróxidos de hierro, también se produce la precipitación de los iones fosfatos y férricos, dando lugar a fosfatos de hierro, de insolubilidad muy elevada, de todos los nutrientes que interactúan con el zinc, el fósforo es, sin dudas, el más importante, ya que la deficiencia de zinc en los vegetales, puede ser provocada por la aplicación de fertilizantes fosforados (Fernández, 2007).

Orozco *et al.* (2016) señala en su investigación que, el exceso de fósforo puede interferir con la absorción de micronutrientes, entre los más importantes, el zinc y hierro, así mismo, el exceso de potasio en forma de potasa aumenta el pH del suelo, lo que causa una mala absorción de nutrientes.

#### **1.4.4 Fuentes de K y la respuesta del suelo a su aplicación**

El potasio tiene su origen en el material original a partir del cual se formó el suelo, a diferencia de otros nutrientes como el N, P y S, el K no están presentes en la materia orgánica del suelo. Las formas del K en el suelo que están disponibles para las plantas en orden de mayor a menor son: solución, adsorbidos a la fase sólida (inorgánica y orgánica), fijado y estructural (minerales primarios), de todas las formas, la forma estructural es la más abundante en el suelo (90-99%), pero no está disponible para los cultivos. La principal vía de renovación del K absorbido por la planta es la desorción a partir de las formas adsorbidas

(intercambiables), por este motivo, habitualmente se consideran disponibles sólo las formas en la solución y adsorbido o intercambiable (Álvarez y Rimski-Korsakov, 2016).

El potasio es un elemento esencial en las plantas, las cantidades requeridas, lo ubican en el quinto lugar después del C, O, H y N, la mayor parte del K disponible para las plantas es de origen inorgánico, ya que se forma a través del intemperismo de las rocas, por esto, en suelos orgánicos es posible encontrar el contenido más bajo de K, la adsorción en las superficies de intercambio y su disponibilidad dependen de las características físico-químicas del suelo. Entre los principales factores que afectan la distribución de K entre la fase sólida y líquida del suelo, se encuentran el contenido y tipo de arcilla, cuando más débil esté el K retenido en la superficie de las arcillas, más fácil podrá ser liberado a la solución del suelo (Borges *et al.*, 2005).

Las plantas absorben el potasio en forma de  $K^+$  y siempre es importante su cuantificación en las cenizas vegetales en forma de óxido de potasio, su contenido en las plantas puede variar ampliamente dependiendo de la especie, del órgano que se tenga en cuenta y de su disponibilidad en el suelo, muchos investigadores han demostrado en reiteradamente y de forma concluyente, su importancia como elemento esencial, sin embargo para algunos estudiosos el sodio puede remplazarlo parcialmente sin que la planta presente alteraciones en su desarrollo, pero en todos los ensayos las plantas tratadas con alta concentración de potasio y bajo de sodio se desarrollan mejor que cuando se utiliza altas dosis de sodio con bajo potasio (Navarro y Navarro, 2003).

## **1.5 LA GYPSOPHILA**

La Gypsophila en muy poco tiempo ha convertido al Ecuador en el principal productor de este tipo de flores en el mundo, El Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Pro Ecuador (2013) señala que Ecuador es el principal país exportador de Gypsophila, con el mayor número de hectáreas cultivadas, en el año 2013 se exportaron 1650 toneladas, lo que significa el 9% del total de las exportaciones de flores.

Es una planta originaria de Europa y del Norte de Asia y pertenece a la familia Caryophyllaceae, tiene su mejor desarrollo en condiciones de bosque seco montano bajo, a nivel mundial los centros de producción son Estados Unidos, Holanda, México, Costa Rica, Italia, Israel, Colombia y Ecuador. En el Ecuador se la cultiva en las provincias de Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua y Azuay (Catucumba, 2004). En la mayoría de empresas

que se dedican a la producción de *Gypsophila*, practican sistemas de producción intensiva como el monocultivo, lo que a mediano y largo plazo produce un empobrecimiento del suelo.

Es un cultivo que se destina para flor cortada y es utilizada tradicionalmente como complemento de arreglos y ramos florales (Casierra-Posada y Peña, 2010). Desde el punto de vista comercial, la altura y el peso de los tallos son parámetros importantes de su calidad. Es una planta muy popular y cuenta con muchas variedades, entre las más importantes y conocidas están: Bristol Fairy, Flamingo, Golan, Gilboa, Arbel, Tavor, Perfecta, Yukinko, y Million Stars. Las variedades de flor grande, tiene una tasa de crecimiento más lento, (Valencia, 2015).

Es una planta para la cual, la temperatura es un factor determinante para el crecimiento y el control de floración, temperaturas nocturnas inferiores a 7 °C favorecen el desarrollo vegetativo independiente del número de horas de luz, en tanto que para la mayor eficiencia en la floración prefiere temperaturas nocturnas superiores a 11 °C en régimen de día largo, con temperaturas nocturnas inferiores se obtienen una menor respuesta a la floración, de la misma manera con temperaturas medias más elevadas durante el cultivo, se acorta el periodo a entrada de producción, todo esto con fotoperiodo favorable, es una especie que no prefiere ambientes con alta humedad relativa, ya que esto favorece la presencia de enfermedades y alarga el ciclo del cultivo (López *et al.*, 2006).

### **1.5.1 Requerimientos del cultivo de *Gypsophila***

Catucumba (2004) señala que, la *Gypsophila* requiere días largos con 12 a 15 horas de luz, temperaturas de entre 15 y 17 °C, humedad relativa entre 60 y 80 por ciento, precipitaciones anuales de entre 500 y 2000 mm, altitud de entre 1500 y 2700 msnm. Es una planta dicotiledónea que pertenece al orden centrospermas y es de la familia cariofilácea.

Entre los principales requerimientos edáficos del cultivo, prefiere los suelos arenosos con buen contenido de materia orgánica, sueltos y profundos con buen drenaje, con respecto al pH, esta planta exige suelos básicos, no siendo aconsejable su cultivo en suelos con pH menor de 6,5, es un cultivo que durante su desarrollo demanda altas cantidades de nutrientes, de manera especial el calcio (Ca), el mismo nombre del género lo indica, *Gypsophila*, “amiga del yeso”, del mismo modo es exigente en cuanto al potasio (K) y demanda cantidades normales de fósforo (P) (Aragon, 2002; López *et al.*, 2006). La *Gypsophila* es una planta muy exigente en potasio y probablemente su sistema radicular no es muy eficiente para



absorberlo desde la fracción intercambiable necesitando altas concentraciones de este elemento en la solución del suelo (Molina *et al.*, 1991).

La concentración foliar de elementos disminuye con la edad fisiológica de la planta, las hojas almacena alrededor del 30 % del total de nutrientes de la planta, en el área foliar los niveles más altos se presentan en las semanas de floración. Los niveles obtenidos en la época de floración y cosecha fueron N (3 -4%), P (0,1 – 0,2%), K (2 – 2,5%) (Medina *et al.*, 1999).

Es necesario brindar una nutrición adecuada y balanceada a la *Gypsophila* para que pueda expresar plenamente su potencial genético, se necesita la presencia de todos los elementos en los tejidos no solamente en concentraciones determinadas, sino también, que entre uno y otro elemento existan relaciones adecuadas que no son obras del azar, sino que reflejan funciones que los elementos ejercen en el metabolismo de la planta (Cuadro 10), los análisis foliares son una herramienta importante (Calvache, 2001).

**Cuadro 10: Niveles e intervalos para interpretar análisis foliares en *Gypsophila***

Intervalos	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	B
	%						ppm			
Deficiente	< 3,5	< 0,25	< 1,0	< 3,5	< 0,7	< 50	< 63	< 4	< 25	< 30
Rango normal	4,5 - 5,6	0,33 - 0,53	1,8-4,0	4,1-6,0	0,8-1,3	57-182	63-255	8,6-21	26-81	63-112
Exceso	> 6,0	> 0,5	> 4,0	> 7,0	> 2,0	> 800	> 200	> 36	> 85	> 112

Fuente: Calvache (2001)

En la preparación del terreno para la siembra, se recomienda la incorporación de enmiendas orgánicas, a razón de 5 kg/m<sup>2</sup> en mezcla con enmiendas físicas como arenas o sustratos inertes, estos materiales favorecen el desarrollo de las raíces y por ende de la parte aérea (López *et al.*, 2006).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.6 ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelo de la Universidad Nacional Agraria la Molina, ubicada en el distrito La Molina, provincia de Lima, Perú, con una latitud sur  $12^{\circ}05'06''$  y longitud oeste  $76^{\circ}75'00''$  a una altura de 230 msnm. Con promedios de temperatura  $14.6^{\circ}\text{C}$  a  $28.7^{\circ}\text{C}$ , y una precipitación promedio anual de 60 mm, pertenece a la zona agro ecológica Costa sub-Tropical, grupo ecológico Desierto y se encuentra en la cuenca hidrográfica Rimac (Vega y Mejía, 2017).

### 1.7 MATERIALES

**Sustrato:** tomado de una capa superficial de treinta centímetros, suelo de cultivo de (*Gypsophila paniculata*) explotado por un tiempo de dieciocho años, proveniente de Ecuador, provincia del Azuay, cantón Gualaceo, con latitud sur  $2^{\circ}51'90''$  y longitud oeste  $78^{\circ}46'62''$ , que se encuentra a 2230 m.s.n.m, su temperatura promedio es de  $18^{\circ}\text{C}$ , la humedad relativa promedio es de 75 por ciento, precipitación anual de 750 mm, su área agroecológica es sierra sur ecuatoriana (Figura 6).

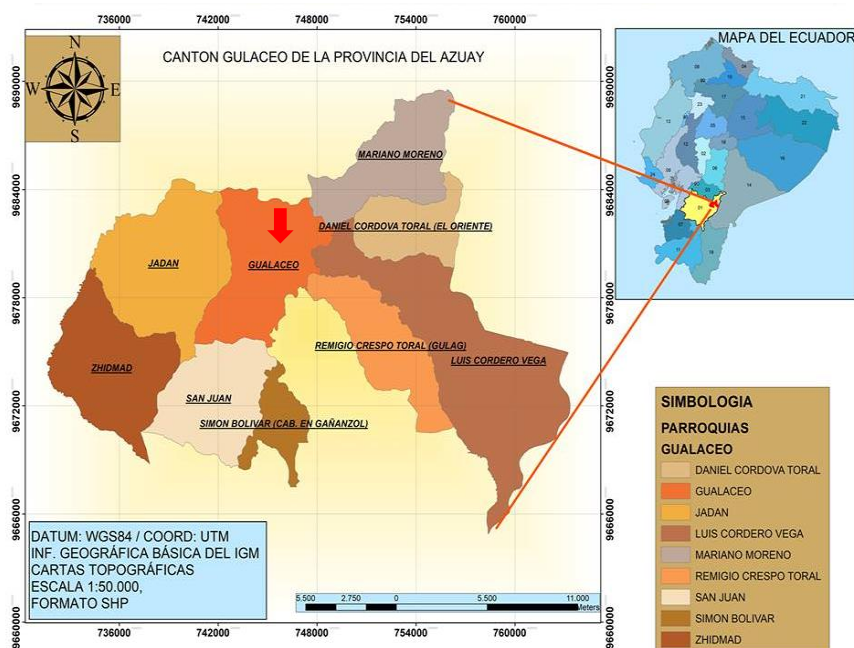
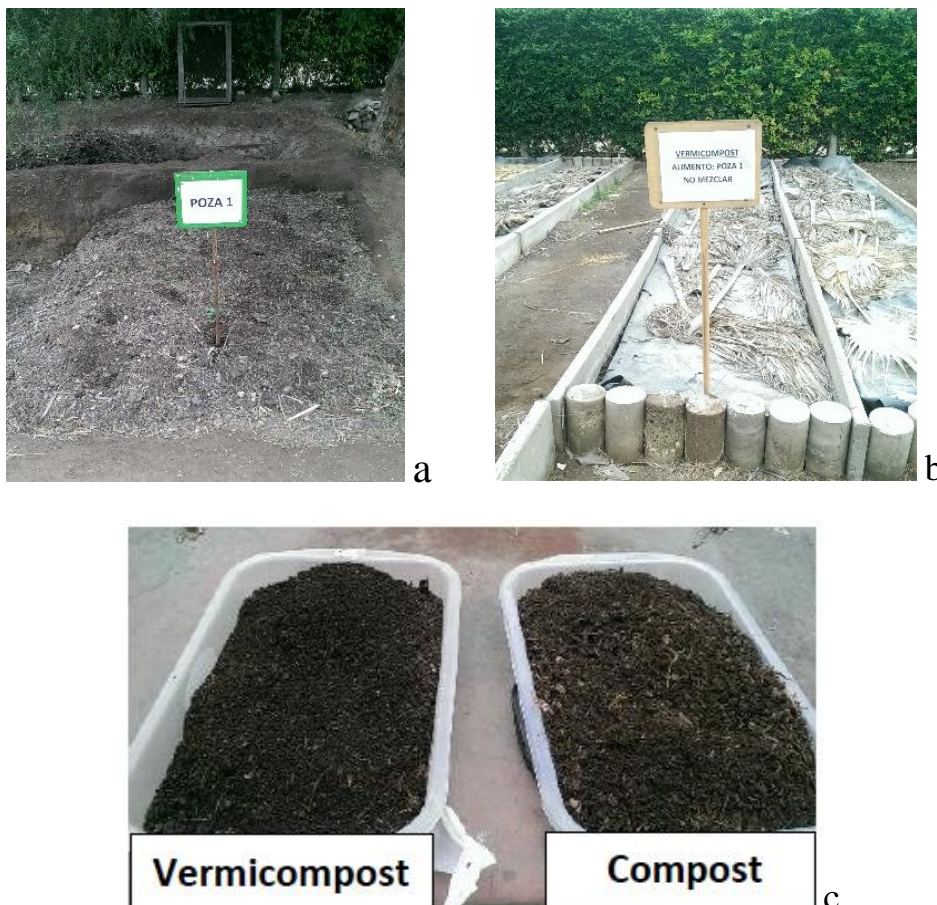


Figura 6. Ubicación del lugar de procedencia del sustrato suelo

De acuerdo al análisis de caracterización es un suelo de textura Franco Arenoso, con un pH de 7,99 moderadamente alcalino, C.E de 0,42 dS/m es muy ligeramente salino, la materia orgánica 0,84 % es bajo, el fósforo disponible 17,2 ppm es alto, el potasio disponible 374 ppm es alto, y baja retención de agua y cationes.

**Enmiendas orgánicas:** En el trabajo se emplearon enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost de un mismo origen, los materiales que se utilizaron son restos de podas, cortes de césped, frutas y estiércol de ganado vacuno que fueron procesados en la Compostera del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

El proceso de compostaje se inició en abril del 2015 y tuvo una duración de cinco meses, para el vermicompost, luego de un proceso de precompostaje cuando la temperatura baja alrededor de los 40 °C en la pila común, una parte de esta se destina para la alimentación de las lombrices (cama de vermicompostaje), en tanto que el material restante continua con el compostaje, el proceso de vermicompostaje se inició en junio del 2015 y tuvo una duración de tres meses. (Figura 7).



**Figura 7: a) Pila común para compostaje y alimento de lombrices. b) Cama de vermicompostaje. c) Productos finales de compost y vermicompost**

### Otros materiales:

- a) **Plantas:** (*Gypsophila paniculara*) de la Variedad Milenium.
- b) **Semillas:** Maíz, Híbrido PMX 5.
- c) **Agua de riego:** Cisterna (agua de tanquero, nivel freático del río Rimac en Huachipa)
- d) **Superfosfato triple:** Fertilizante comercial, con 46% de P ( $P_2O_5$ ).
- e) **Nitrato de amonio:** Fertilizante comercial, con 33,55 de N.
- f) **Cloruro de potasio.** Fertilizante comercial, con 60% de K ( $K_2O$ ).
- g) **Macetas:** Capacidad de 1,5 kilogramos y de 2,5 kilogramos.

## 1.8 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los análisis físico-químicos para la caracterización del sustrato, el compost, el vermicompost y el agua de riego se realizaron en el Laboratorio de Investigación, Suelos, Agua, Plantas del Departamento de Suelos de la UNALM.

### 1.8.1 El sustrato suelo

**Determinación de textura:** para la determinación de la textura se procedió con el método del hidrómetro (Weast, 1988-1989), con la ayuda de un batidor (Hamilton Beach comercial), se batió por cinco minutos una mezcla de 20 g de suelo secado y tamizado a 2 mm, 50 ml de dispersante y agua desionizada, la suspensión se vertió en una probeta de 1 litro pasando la mezcla por un tamiz de 50  $\mu m$ , en el que se retiene las partículas de arena, se aforó la probeta a 1 litro con agua desionizada y paralelamente se prepara un blanco en otra probeta de 1 litro a la que se le adiciona únicamente los 50 ml del dispersante y agua desionizada, con un pistón agitador se homogenizó la muestra y el blanco y se procedió a tomar lecturas de densidad en g/L con un hidrómetro estándar (ASTM 152-H en g/L) y de temperatura con un termómetro en  $^{\circ}C$  a los 50 segundos y a los 5, 60, 200, 720 y 1440 minutos, para determinar el tamaño de las partículas con la fórmula:

$$X = \frac{1000 \sqrt{(Bh')}}{\sqrt{t}}$$

Donde:

X es el tamaño medio de partículas en  $\mu m$ .

B se obtiene de la tabla que está en función de la temperatura.

h' es la profundidad efectiva del hidrómetro en cm con la formula.

$$h' = 0.164 R + 16.3$$

R es la lectura del hidrómetro.

t es el tiempo de lectura en minutos.

Una vez calculados los porcentajes de las partículas de arenas, limos y arcillas, se procedió a determinar la textura que presenta la muestra de suelo en un triángulo de textura.

**Determinación de pH:** en un vaso de 100 ml, con una cuchara de capacidad se tomó 20 ml de suelo y 20 ml de agua desionizada en una relación 1:1 v/v, se agitó por treinta minutos, luego se dejó reposar por quince minutos, para proceder a tomar lectura con un potenciómetro (Consort modelo C1020) previo a su calibración.

**Determinación de conductividad eléctrica C.E:** en la mezcla utilizada para la medición del pH, se procedió a tomar lectura de la C.E. en dS/m con la ayuda de un conductímetro (YSI modelo 32) previo a su calibración.

**Determinación de carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>:** se determinó con el método del calcímetro (Black *et al.* 1965), en un Erlenmeyer de 150 ml, se colocó 5 g de suelo, se colocó en el calcímetro de Collins con graduación vertical y se adicionó 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) diluido 1:1, luego de agitarlo se tomó la lectura del agua saturada desplazada en ml, a continuación se tomó un peso de 100 mg de CaCO<sub>3</sub> puro y se realizó el mismo procedimiento, se obtuvo la lectura (V1) y se realizó el cálculo con la fórmula:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{V \times P1}{V1 \times P} \times 100$$

Donde:

P es muestra de suelo en g.

V es el volumen en ml que se desplazó el agua saturada con la muestra de suelo

P1 es el peso en g del CaCO<sub>3</sub> puro

V1 es el volumen en ml que se desplazó el agua saturada con el CaCO<sub>3</sub> puro

**Determinación de materia orgánica MO:** mediante el carbono orgánico por el método de Walkley y Black (Black *et al.*, 1965), en un erlenmeyer de 250 ml se coloca 1 g de suelo, se adicionó 10 ml de dicromato de potasio 1 N (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y 20 ml de ácido sulfúrico técnico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), se dejó reaccionar por 12 horas, se adicionó 200 ml de agua desionizada, 5 ml de ácido fosfórico concentrado (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y 0,5 ml del indicador difenil amina sulfúrica. Esta solución se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,5 N, con lo que se obtuvo el porcentaje de carbono orgánico (C), para el porcentaje de MO se trabaja con la ecuación:

$$\% MO = \%C \times 1,724$$

**Determinación de fósforo disponible:** con el método Olsen modificado (Black *et al.* 1965) se obtuvo el P disponible en ppm, se mezcló 2,5 g de suelo con 20 ml de solución de bicarbonato de sodio 0,5 M (NaHCO<sub>3</sub>), se agitó por 30 minutos y se filtró, se preparó la solución para curva patrón, en 3 ml de solución se adiciona 10 ml de solución de trabajo (100 ml molibdato de amonio con 0,1 ml de ácido ascórbico), reposo durante 10 minutos y se tomó lecturas de absorbancia en espectrofotómetro Thermo Scientific modelo Helios Epsilon, a 660 nm de longitud de onda.

**Determinación de potasio disponible:** para potasio disponible se utilizó la metodología del acetato de amonio (Black *et al.*, 1965), (de la Horra *et al.*, 1993).

**Determinación de capacidad de intercambio catiónico CIC:** se calculó con el método acetato de amonio pH 7.0 (Black *et al.*, 1965), , en un embudo con papel filtro se colocó 2,5 g de suelo, se lavó con agua desionizada, luego dos lavados con 20 ml de acetato de amonio pH 7,0, los 40 ml recogidos del lavado se le adicionamos 10 ml y se utiliza para lecturas de cationes. Se continuó los lavados con 100 ml de alcohol al 96% y dos lavados con 20 ml de cloruro de potasio 1 N (KCl), se recogió los 40 ml y se lleva a 50 ml, se tomó 25 ml y se destiló, se recibió el NH<sub>4</sub> en 20 ml de ácido bórico de 3 a 4 minutos, la muestra capturada se tituló con ácido sulfúrico 0,02 N.

**Determinación de cationes cambiables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) en meq/100g:** parte de la solución obtenida en el lavado del suelo con acetato de amonio, en el procedimiento para el cálculo de la CIC, se llevó al equipo de absorción atómica (PerkynElmer AAnalyst 200), para leer los cationes.

### 1.8.2 Adsorción de fosfatos

La determinación de la Máxima Capacidad de Adsorción de fosfatos en el suelo en estudio, se determinó mediante la isoterma de adsorción de Langmuir, siguiendo el método propuesto por Olsen y Watanabe (1957) con ligeras modificaciones.

El procedimiento consistió en tomar 2,5 g de muestra de suelo en un frasco de 100 ml por triplicado, se adicionó 25 ml de una solución de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, en concentraciones variables de P de (1, 5, 10, 15, 20, 30, 50 y 100 ppm), se agitaron durante 24 horas a 120 rpm con un agitador horizontal (Sheker modelo SK-300), a una temperatura de laboratorio de 25 °C ± 1 °C. El sobrenadante o extracto fue obtenido por filtración, para determinar la concentración de P se preparó la curva patrón del método Olsen modificado, para tomar las lecturas de

absorbancia en espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Helios Epsilon), a 660 nm de longitud de onda. Con los datos obtenidos se construyó la isoterma de adsorción de Langmuir en su forma lineal, para lo cual se graficó en un eje de coordenadas la relación entre la cantidad de P adsorbido y la concentración de P en la solución de equilibrio o sobrenadante. Posterior a esto y con la ecuación de adsorción de Langmuir en forma lineal se determinó la Capacidad Máxima de Adsorción de P (CMA) según (Olsen y Watanabe, 1957; Fassbender, 1966).

La ecuación de Langmuir incluye el término Máxima Capacidad de Adsorción y esta descrita por:

$$q = \frac{abc}{1 + ac}$$

Donde (q) es la cantidad de P adsorbido, (c) la concentración de P en la solución y (b) es la Máxima Capacidad de Adsorción.

### **1.8.3 Granulometría de la fracción arena**

El procedimiento consistió en tomar una muestra 50 g de suelo seco y tamizado a 2 mm, se mezcla con 50 ml de dispersante y agua desionizada y se bate por cinco minutos, con la ayuda de un batidor (Hamilton Beach comercial), luego fue pasada por un juego de tamices (TYLER), con ayuda de agua, para determinar los diferentes tipos de arenas según su diámetro, las fracciones de arena obtenidas en cada tamiz se llevaron a estufa (BLUE M modelo MW-17TC) para secado y posterior determinación del peso seco de cada fracción de arena, para lo que se utilizó una balanza digital (sartorius TE412), para el cálculo se trabajó con la ecuación:

$$\% \text{ fracción arena} = \frac{\text{Peso seco fracción arena}}{50} * 100$$

### **1.8.4 Humedad del suelo**

La humedad del suelo se estableció por Determinación de la Humedad Equivalente (H.E.), se pesó 30 g de suelo por duplicado, se saturan con agua por 24 hora luego las muestras se centrifugaron durante 30 minutos a 2400 rpm con un equipo (IEC Size 2 Model K), a continuación se determina el peso húmedo de las muestras con una balanza digital (sartorius TE412), se colocaron las muestras en estufa (memmert UNB 400), a 105 °C por 24 hora y se determinó el peso seco:



$$H.E. = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100$$

$$CC(\%) = 0,774 He + 4,41$$

$$PM(\%) = \frac{H.E}{1,84}$$

$$Agua\ aprovechable = CC(\%) - PM(\%)$$

Donde:

Wh es peso húmedo

Ws es el peso seco

H.E. es la humedad equivalente del suelo en porcentaje (humedad gravimétrica)

CC (%) es la capacidad de campo del suelo en porcentaje

PM (%) es el punto de marchites del suelo en porcentaje

Para determinar Humedad volumétrica del suelo se utiliza la ecuación:

$$Humedad\ volumétrica = Humedad\ gravimétrica \times Densidad\ aparente$$

### 1.8.5 Volumen de riego

Para determinar la necesidad de agua del cultivo, se estableció la humedad del suelo con ayuda de un sensor de humedad (Vigoro modelo 308 314), que se basa en la respuesta a cambios en la constante dieléctrica del suelo:

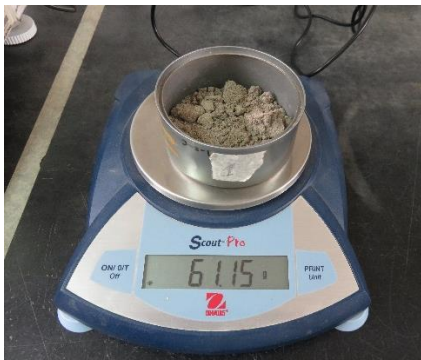
**Medición:** para medir la humedad del suelo se puso el interruptor del sensor en posición Moist, se clavó las puntas de la sonda en el sustrato a 10 centímetros de profundidad y se observó la desviación de la aguja en la escala Dry/Wet que va de 1 a 10, se esperó 30 segundos para tomar la lectura (Figura 8a).

**Calibración del equipo:** para calibrar el equipo se realizó una prueba con cuatro macetas con 2,5 kg del sustrato suelo en estudio. Se procedió a aplicar agua en las macetas hasta saturación, dos días después se procedió a tomar las lecturas de humedad con ayuda del sensor, a continuación con un sacamuestras plástico se toman alrededor de 30 g del sustrato (Figura 8b), se fijó el peso húmedo de las muestras del sustrato con una balanza digital (Sartorius CP323 S) (Figura 8c), se ingresó las muestras a la estufa (Venticell LSIS-B2V / VC 222) durante 24 horas a 105 °C para luego obtener el peso seco (Figura 8d), con estos datos se calculó la humedad gravimétrica, este valor se multiplica por la densidad aparente para obtener la humedad volumétrica, este procedimiento se repitió por catorce días.



**a**

**b**



**c**



**d**

**Figura 8:** a) Lectura del sensor de humedad. b) Toma de muestra de sustrato. c) Peso húmedo de sustrato. d) Secado en estufa de sustrato

Para el cálculo se utilizaron las formulas:

$$W = \frac{Wh - Ws}{Ws} * 100$$

*Humedad volumétrica*  $\theta = W \times Da$

Donde:

W es la humedad gravimétrica en porcentaje.

Wh es el peso húmedo del suelo en g.

Ws es el peso seco del suelo en g.

Da es la densidad aparente del suelo.

Humedad volumétrica  $\theta$  es la humedad volumétrica del suelo en porcentaje.

Con los datos obtenidos en el transcurso de los catorce días se construyó la ecuación lineal, para lo cual se graficó, en un eje de coordenadas la relación entre la medida de humedad del sensor en el eje X y la humedad volumétrica del suelo en el eje Y.

### 1.8.6 Densidad del suelo

Se determinó por el método de la probeta, con la ayuda de una balanza digital (Sartorius CP323 S), se pesó 50 g de suelo secado a estufa (Venticell LSIS-B2V / VC 222) por 24 hora a 105 °C y se colocó en una probeta para determinar el volumen de suelo en ml, se retiró el suelo y se colocó un volumen de agua de 50 ml, se introduce el suelo en la probeta y se agito para eliminar el aire luego se midió el volumen final de la mezcla en ml y por diferencia con el volumen de agua se determinó el volumen de sólidos en ml:

$$Densidad\ aparente = \frac{Peso\ suelo}{Volumen\ suelo}$$

$$Densidad\ real = \frac{Peso\ suelo}{Volumen\ sólidos}$$

$$Porosidad\ \% = \left(1 - \frac{Densidad\ aparente}{Densidad\ real}\right) \times 100$$

$$Aireación = Porosidad - (Capacidad\ de\ campo \times Densidad\ aparente)$$

### 1.8.7 Determinación del contenido foliar de la *Gypsophila paniculata*

Terminadas la cosecha 1, cosecha 2 y cosecha 3 en experimento 1 y terminada la cosecha en experimento 3, luego de tomar el peso seco de tallo, se procedió a preparar las muestras foliares, se juntó las hojas de las repeticiones para realizar el análisis foliar de cada tratamiento, mediante un procedimiento de digestión húmeda se determinó el contenido en porcentaje de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y sodio), así como las partes por millón de los micronutrientes (zinc, cobre, manganeso, fierro, boro) presentes en el área foliar. La metodología consistió en moler y homogenizar las hojas secas, se tomó una muestra de 0,5 g con una balanza automática (August Sauter GmbH D 7470), se coloca en un erlenmeyer, para adicionar 12 ml de ácido nitro perclórico, que reacciona durante 12 horas, luego pasa a un proceso de digestión en una plancha a 200 °C, el resultado se lleva a un volumen de 50 ml y se filtra, este extracto se llevó al equipo de absorción atómica (PerkynElmer AAAnalyst 200), para leer los elementos. El nitrógeno (N) se determinó del mismo extracto, por destilación con el sistema micro Kjeldahl, el fósforo por colorimetría sulfomolibdica, el azufre y boro por colorimetría.

### 1.8.8 Las enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost

**Determinación de pH:** se preparó una pasta saturada con 50 g de enmienda, luego se procedió a tomar la lectura directamente en la pasta con el potenciómetro (Consort modelo C1020) previo a su calibración.

**Determinación de conductividad eléctrica C.E:** en la misma pasta saturada preparada para el pH, se procedió a tomar la lectura de conductividad con el potenciómetro (Consort modelo C1020) previo a su calibración.

**Determinación de humedad retenida:** se determinó por el método gravimétrico, en una balanza digital (sartorius TE412), se pesó 50 g de cada muestra (peso húmedo), se lleva a estufe estufa (BLUE M modelo MW-17TC) durante 24 horas a 105 °C, transcurrido ese tiempo, se toma el peso seco de la muestra, para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

**Determinación de materia orgánica MO:** se determinó por calcinación y gravimetría (Black *et al.*, 1965), se secó la muestra a 105 °C por 24 horas en estufa (BLUE M modelo MW-17TC), para tomar peso de muestra en balanza digital (sartorius TE412), se calcina en una mufla (Barnstead Thermolyne 62700 Furnace) a 550 °C durante 5 horas, se enfrió y se tomó el peso seco de la muestra, para determinar % de C se utilizó la fórmula:

$$\% C = \frac{\text{Peso seco a } 105\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{Peso seco a } 550\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{Peso seco a } 105\text{ }^{\circ}\text{C}} \times 100$$

Para determinar el porcentaje de materia orgánica se utilizó la fórmula:

$$\% MO = \% C \times 1,724$$

**Determinación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:** se determinó por digestión humedad (Black *et al.*, 1965), se agrega a la muestra la solución extractante con ácido nítrico más ácido perclórico para la liberación del P, se prepara una curva estándar y se toma las lecturas adicionando la solución sulfomolibdica en el espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Helios Epsilon), a 660 nm de longitud de onda.

**Determinación de K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Na:** en el extracto obtenido para el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se toma lecturas con el equipo de absorción atómica (PerkynElemr AAnalyst 200).

**Determinación de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas:** se utilizó el método de fraccionamiento (Black *et al.*, 1965), para la separación de los ácidos húmicos y fúlvicos, se tomó 2 g de muestra previamente secado en una estufa (BLUE M modelo MW-17TC) a 100°C por 24 hora, se realizó la extracción con una mezcla de Pirofosfato 0,1M más NaOH 0,1 M, que se agitó por una hora y centrifugo por 25 minutos a 4500 rpm con un equipo (IEC Size 2 Model K), el precipitado se seca para determinar las huminas, en la solución se determina los ácidos húmicos y fúlvicos.

### **1.8.9 Agua utilizada para riego**

En una botella plástica de un litro, se tomó una muestra del agua que se utilizó para el riego de las plantas en los ensayos para ser enviada al Laboratorio de Suelos de la UNALM, mediante un análisis estándar de agua, se determinó los parámetros: pH, conductividad eléctrica C.E, calcio, magnesio, potasio, sodio, suma de cationes y suma de aniones, mediante los métodos y técnicas que utiliza el laboratorio.

### **1.8.10 Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos de temperatura máxima y temperatura mínima diaria en °C, humedad relativa promedio diaria en porcentaje y las horas de sol por día, fueron proporcionados por el Departamento de ingeniería Ambiental, Física y Meteorología de La UNALM y pertenecen al Observatorio Meteorológica Alexander Von Humboldt. Los datos corresponden al periodo comprendido entre el 26 de agosto del 2016 y el 02 de mayo del 2017, periodo en el que se desarrolló el ensayo “Respuesta del suelo a dosis creciente de enmiendas orgánicas”, cabe señalar que la distancia entre el lugar del ensayo y el observatorio no es significativa. Con los datos de temperatura máxima y mínima se determinó la temperatura media diaria en °C.

### **1.8.11 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de las diferencias observables entre los tratamientos de las variables en estudio, se utilizó el Modelos Lineal General Mixto del programa estadístico InfoStat/E con especificación del modelo en R, para considerar una posible heterogeneidad de varianza durante el período analizado (Di Rienzo *et al.* 2017). Luego se seleccionó el modelo más apropiado utilizando los valores del criterio de Akaike (AIC), Schwarz (BIC) y la prueba de máxima verosimilitud (LRT). Para todas las variables medidas se analizó la normalidad de los errores usando la prueba de Shapiro-Francia (Shapiro & Francia, 1972).

Para analizar la homogeneidad de varianzas, se usó un gráfico de dispersión de residuos versus valores predichos, se debió observar una nube de puntos sin patrón alguno (Di Rienzo et.al, 2008). De encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba LSD de Fisher ( $\alpha=5\%$ ).

Los datos se presentan en tablas que contienen, la medias de la variable obtenidas por los tratamientos, el Error Estándar, las letras de significancia (medias con letras comunes no son significativamente diferentes con p-valor  $> 0.05$  y medias con letras diferentes son significativamente diferentes con p-valor  $< 0.05$ ) y el Coeficiente de Variación (CV) de la variable, en un plano de coordenadas X y Y. Se presenta un gráfico de puntos con el objeto mostrar un resumen del conjunto de datos, en el eje Y se representa los valores medios de la variable en relación a los tratamientos que se representan en el eje X. Los valores medios tienen asociados segmentos de recta que representan medidas de variabilidad (por defecto, el Error Estándar de la media), si existe traslape entre los valores medios inferiores de un tratamiento y el valor medio superior del siguiente tratamiento no existen diferencias significativas. Gráficos con segmentos de rectas de medidas de variabilidad diferentes corresponden a variables que no poseen homogeneidad de varianza y que al ser modeladas se alteran sus valores de Error Estándar.

## **1.9 EXPERIMENTOS REALIZADOS**

Con el objetivo de evaluar la recuperación de la capacidad productiva de un suelo de Ecuador explotado por dieciocho años con el monocultivo de (*Gypsophila paniculata*) en condiciones de La Molina, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas en forma de compost, vermicompost y de fósforo, se instalaron tres experimentos que se señalan a continuación:

- 1) Respuesta del suelo a fuentes y dosis creciente de enmiendas orgánicas en cultivo de *Gypsophila*.
- 2) Respuesta del suelo a dosis crecientes de fósforo y potasio en cultivo de maíz.
- 3) Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en cultivo de *Gypsophila*.

### **1.9.1 Experimento 1 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis creciente de enmiendas orgánicas en cultivo de *Gypsophila*”**

Con el objetivo de evaluar los efectos de la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost en la recuperación de la capacidad productiva de un suelo

dedicado al cultivo de *Gypsophila paniculata*, se planteó el presente ensayo, que se desarrolló en el Laboratorio de Fertilidad de Suelo de la UNALM, bajo condiciones de invernadero, se probó la incorporación de cuatro dosis de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost al sustrato suelo para determinar parámetros de producción de (*Gypsophila paniculata*), parámetros físico químicos del sustrato terminado la cosecha 1 y cosecha 3 y el contenido foliar de elementos en los tres ciclos de cosecha, en el (Cuadro 11) se detallan los tratamientos.

**Cuadro 11: Tratamientos experimento 1 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas en cultivo de *Gypsophila*”**

Tratamientos	Sustrato kg/maceta	Compost %	Vermicompost %	Enmienda g/maceta
1 (TESTIGO)	1,50	0,00	0,00	0,00
2 (COM 0,25)	1,50	0,25	0,00	3,75
3 (COM 0,50)	1,50	0,50	0,00	7,50
4 (COM 1,00)	1,50	1,00	0,00	15,00
5 (COM 2,00)	1,50	2,00	0,00	30,00
6 (VER 0,25)	1,50	0,00	0,25	3,75
7 (VER 0,50)	1,50	0,00	0,50	7,50
8 (VER 1,00)	1,50	0,00	1,00	15,00
9 (VER 2,00)	1,50	0,00	2,00	30,00

La dosis de la enmienda se determinó en base al producto del peso del sustrato por el porcentaje de la enmienda entre cien.

$$\text{Peso enmienda}(g) = \frac{\text{Peso sustrato}(g) \times \% \text{ enmienda}}{100}$$

Donde:

Peso enmienda, es la cantidad de enmienda en gramos a ser incorporada al sustrato suelo.

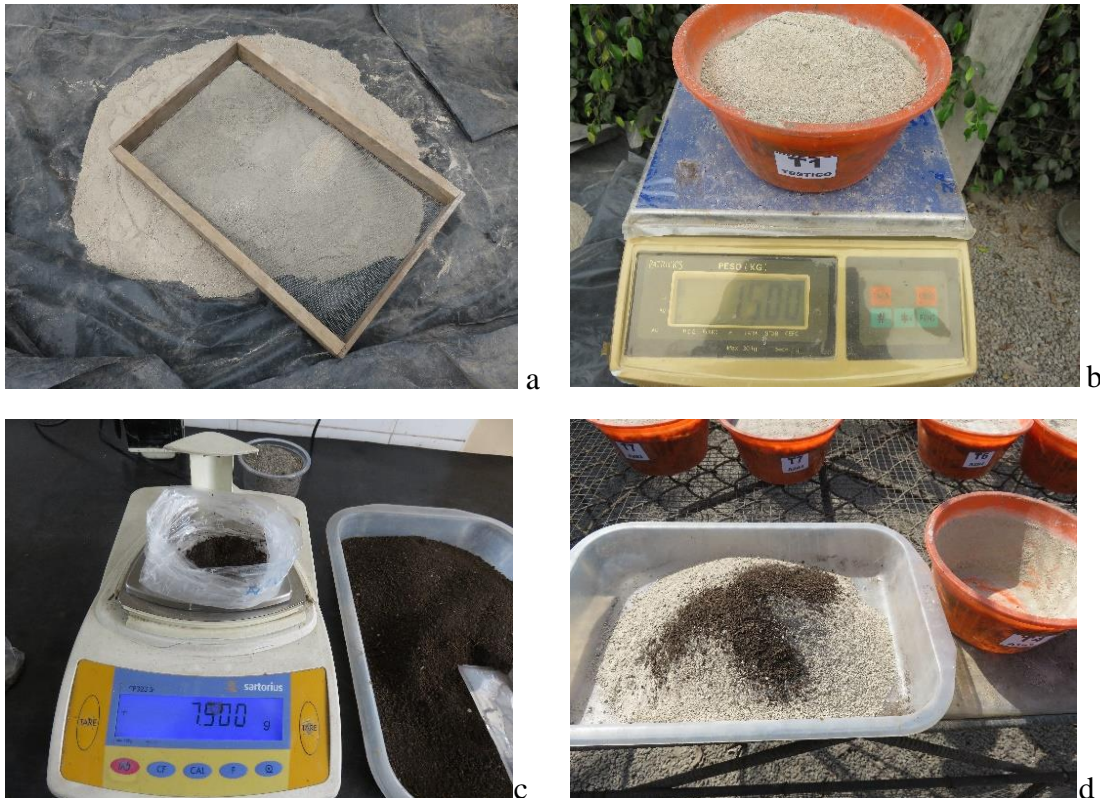
Peso sustrato, es el peso en gramos del sustrato suelo (1500 g).

% enmienda, la dosis de enmienda de los diferentes tratamientos.

Para el ensayo se empleó un modelo de Diseño Completos al Azar (DCA), con 9 tratamientos y 4 repeticiones, lo que dio un total de 36 unidades experimentales, que consistieron en, una maceta con 1,5 kg de sustrato suelo con su dosis de enmienda orgánica y con una planta de *Gypsophila*, para el análisis estadístico de las variables en estudio, se utilizó la prueba de hipótesis marginal LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) del Modelo Lineal General Mixto del programa estadístico InfoStat/E con especificación del modelo en R.

## Preparación de sustrato

Se realizó tres días antes de la siembra, se tamizó y homogenizó el sustrato suelo, luego se procedió a llenar las macetas con 1,50 kilogramos de suelo medido con una balanza (Patrick's en kilogramos), se adicionó la cantidad de compost o vermicompost correspondiente a la dosis como se observa en Figura 9.

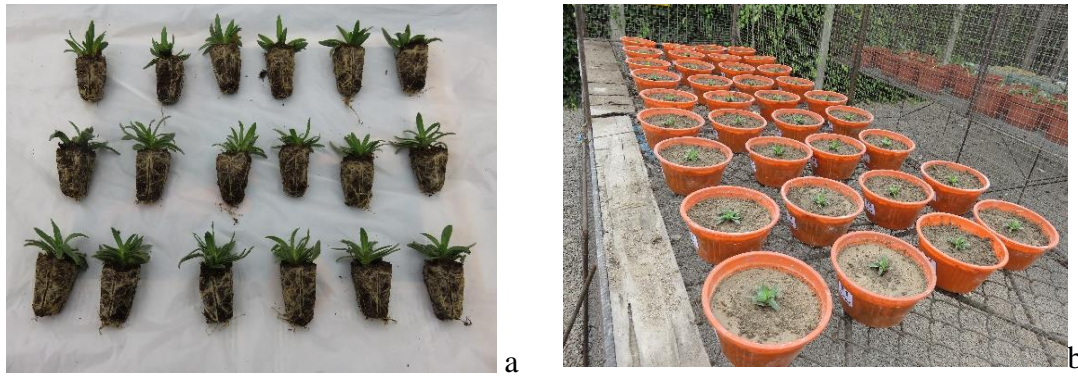


**Figura 9:** a) Tamizado de sustrato. b) Pesado de sustrato c) Pesado de enmienda orgánica. d) Mezclado de enmienda orgánica con el sustrato.

## Siembra

La siembra se realizó el 29 de agosto del 2016, para uniformizar la siembra se escogieron las plantas de *Gypsophila* de un grupo de doscientas unidades. Se sembró una planta por cada maceta (Figura 10).





**Figura 10: a) Clasificación de plantas de Gypsophila para la siembra. b) Siembra de plantas de Gypsophila.**

### **Poda**

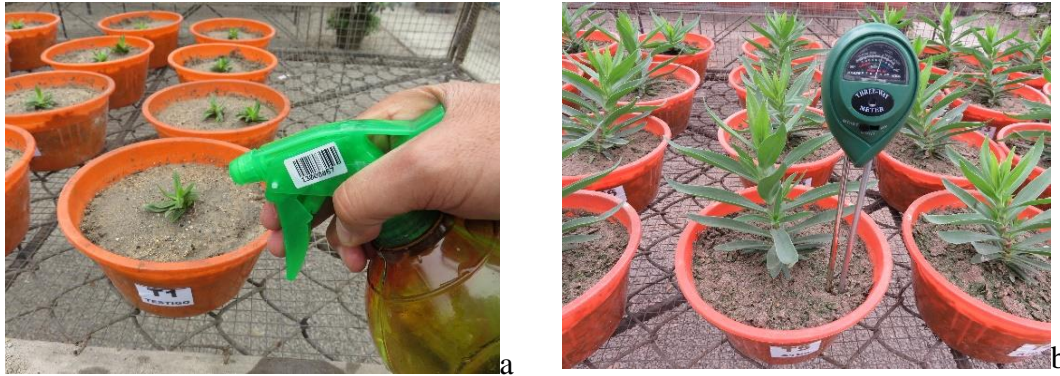
Luego de la cosecha 1, se limpió la corona de las plantas, cuando se presentan los brotes nuevos se escogió el mejor para dar lugar al su desarrollo para la cosecha 2, este mismo procedimiento se utilizó terminada la cosecha 2, para dar lugar al desarrollo del tallo para la cosecha 3.

### **Fertilización**

La fertilización complementaria se aplicó en dosis similares a todos los tratamientos, para la siembra, se usó una dosis de (N 200 ppm, P 75 ppm, K 150 ppm), en el caso de las podas, terminada la cosecha 1 y cosecha 2, se aplicó una dosis de (N 200ppm), utilizando como fuentes los fertilizantes: nitrato de amonio, cloruro de potasio y superfosfato triple. Los tres fertilizantes se aplicaron disueltos en agua, el fósforo en una aplicación 14 días después de la siembra, el nitrógeno en dos aplicaciones 19 y 35 días después de la siembra, la cosecha 1 y la cosecha 2, en tanto que el potasio en dos aplicaciones a los 24 y 40 días de la siembra, los dos últimos elementos con el 50% de la dosis en cada aplicación.

### **Riego**

En los primero 8 días posteriores a la siembra, se utilizó un nebulizador, los riegos posteriores se realizaron en forma manual, con frecuencias diarias para mantener el suelo a capacidad de campo, con volúmenes determinados por la lectura del sensor de humedad del suelo y en base a la ecuación de humedad, las tres semanas iniciales se tomarón las lecturas con el sensor de húmedas a los cinco centímetros de profundidad, luego las lecturas fueron tomadas a diez centímetros de profundidad (Figura 11).



**Figura 11: a) Riego por nebulización después de la siembra. b) Control de humedad con medidor de humedad del suelo Vigor modelo 308 314 a 10 centímetros**

### **Variables en estudio**

Las variables que se analizaron en el experimento son:

#### **Altura de tallo**

Para determinar altura de tallo de *Gypsophila*, se utilizó una regla graduada en cm, se mide desde la base hasta el brote más alto en cada unidad experimental a los 30, 45, y 60 días de la siembra y a la cosecha, para las podas se tomó la media al momento de la cosecha (Figura 12).



**Figura 12: a) Altura de tallo a los 45 días de la siembra. b) Altura de tallo a la cosecha**

#### **Número de laterales por tallo**

Cosechado el tallo se procedió a contabilizar los laterales, son todos los laterales con forma y tamaño que se encurtan por debajo de la flor principal (tres inflorescencias superiores) ver (Figura 13).

### Porcentaje de laterales abiertos

Se consideró como lateral abierto, el lateral con más del 40 % de sus flores abierta (con color) y se calculó el porcentaje de laterales abiertos con relación al número de laterales del tallo (Figura 13).

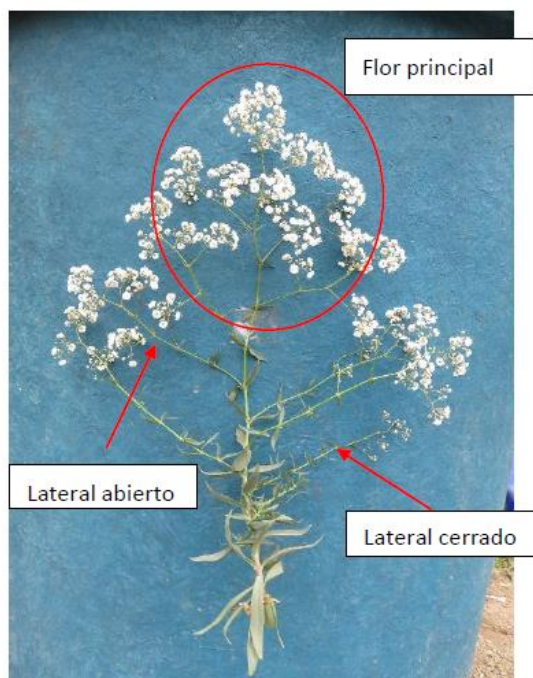


Figura 13: Número de laterales y laterales abierto de tallo de Gypsophila

### Días al inicio de floración

Se contabiliza los días transcurridos entre la siembra y la aparición de las cinco primeras flores abiertas, previo a la cosecha, en el caso de la cosecha 2 y cosecha 3 se cuentan los días entre la cosecha anterior y la aparición de las cinco primeras flores.

### Peso fresco y peso seco de tallos de Gypsophila

Cosechado el tallo se procedió a picarlo a 2,00 cm para tomar el peso fresco en g, luego se colocaron en la estufa (Venticell LSIS-B2V / VC 222) a 75 °C por 24 horas y se determinó el peso seco de tallo en g con la ayuda de una balanza digital (Sartorius CP323 S), este procedimiento se realizó en los tres ciclos de cosecha (cosecha 1, cosecha 2 y cosecha 3) como se observa en (Figura 14).



**Figura 14: a) Picado de tallo de Gypsophila. b) Peso fresco de tallo de Gypsophila**

### **Contenido de humedad en tallos**

Con los datos obtenidos de pesos de tallo, se determinó el contenido de humedad del tallo en porcentaje, en base al peso fresco, se utilizó la fórmula:

$$\text{Humedad en tallo} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

### **Parámetros físico químicos del sustrato suelo**

Terminada la cosecha 1 y la cosecha 3, con la ayuda de un sacamuestras plástico, se tomaron submuestras de sustrato de cada una de las repeticiones, que se mezclaron para obtener 300 g de muestra de cada tratamiento (Figura 12), mediante las metodologías descritas anteriormente, se determinaron los siguientes parámetros físicos y químicos: pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, materia orgánica, fósforo y potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables, terminada la cosecha 3 también se determinó densidad aparente por el método de la probeta.

### **Absorción foliar de macro y micronutrientes**

En las tres cosecha, para la determinación del peso seco de tallos se ingresó a la estufa por separado las hojas de cada tallo (Figura 15), luego de tomado el dato del peso se juntaron las cuatro repeticiones de cada tratamiento, con esta muestra se procedió a determinar los valores foliares de elementos mayores y menores absorbidos. Se determinaron los siguientes parámetros: macronutrientes en % (N, P, K, Ca, Mg, S, Na) y micronutrientes en ppm (Zn, Cu, Mn, Fe, B).

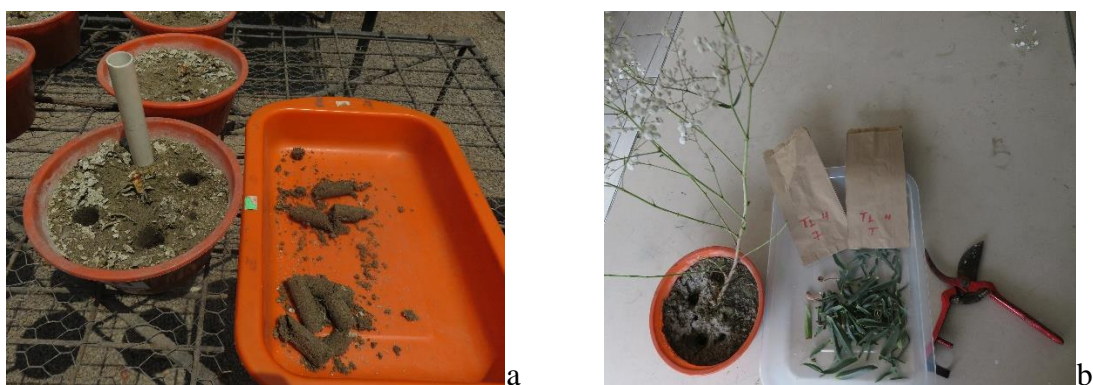


Figura 15: a) Toma de muestra para análisis de caracterización de sustrato en cosecha 1 y 3. b) Toma de muestra para análisis foliar en cosechas 1, 2 y 3

### 1.9.2 Experimento 2 “Respuesta del suelo a dosis crecientes de fósforo y potasio en cultivo de maíz”

Este ensayo se realizó con el objetivo de determinar la respuesta del suelo explotado por dieciocho años con monocultivo de *Gypsophila* a la aplicación de dosis crecientes de fósforo. La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fertilidad de Suelo de la UNALM, bajo condiciones de invernadero, se prueban dosis de fósforo (0, 50, 100 y 200 ppm) en forma de  $P_2O_5$ , teniendo como fuente al superfosfato triple, intercalando con la adición de una dosis de potasio (200 ppm) en forma de  $K_2O$ , utilizando como fuente el cloruro de potasio (Cuadro 12), se empleó como indicador el maíz, por ser una planta C4 con alto poder para extraer los elementos del suelo y se determina, altura de tallo, peso fresco, acumulación de materia seca y el porcentaje de humedad de la planta. (Tomei *et al.* 2007) mencionan que, los estudios sobre las relaciones planta-suelo, especialmente los referentes a la nutrición mineral, utilizan desde mediados del siglo pasado la técnica del cultivo intensivo de plantas indicadoras en macetas, como un camino eficaz para conocer el estado nutricional de los suelos.

Cuadro 12: Tratamientos de experimento 2 “Respuesta del suelo a dosis crecientes de fósforo y potasio en cultivo de maíz”

Tratamientos	Sustrato kg/maceta	P ( $P_2O_5$ ) ppm	K ( $K_2O$ ) ppm	Superfosfato triple g/maceta	Cloruro de potasio g/maceta
1	2,50	0	0	0,00	0,00
2	2,50	0	200	0,00	0,83
3	2,50	50	0	0,27	0,00
4	2,50	50	200	0,27	0,83
5	2,50	100	0	0,54	0,00
6	2,50	100	200	0,54	0,83
7	2,50	200	0	1,09	0,00
8	2,50	200	200	1,09	0,83

El experimento utilizó un modelo Factorial 4x2 con Diseño Completo al Azar (DCA), con 8 tratamientos y 4 repeticiones, lo que dio un total de 32 unidades experimentales, consistentes en, una maceta con 2,5 kg de sustrato suelo, al que se le adiciono las diferentes dosis de fertilizante y se sembró cinco semillas de maíz, para dejar posterior a la germinación tres plantas, para el análisis estadístico de las variables en estudio se empleó la prueba de hipótesis marginal LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) del Modelo Lineal General Mixto del programa estadístico InfoStat/E con especificación del modelo en R.

### **Preparación de sustrato**

Se preparó el sustrato suelo tres días antes de la siembra, se tamizó y homogenizó, luego se procedió a llenar las macetas con una cantidad de 2,50 kg al que se adiciona las dosis de P.

### **Fertilización**

El fósforo se adiciono al sustrato, en el llenado de macetas, en forma sólida, previo a ser molido y tamizado para una mejor distribución, el potasio fue aplicó en forma líquida, a los 15 y 25 días después de la siembra. Adicional se aplicó a todos los tratamientos una dosis de 200 ppm de nitrógeno, que tuvo como fuente el nitrato de amonio y se dividió en dos aplicaciones líquidas a los 13 y 23 días posteriores a la siembra, tanto para el potasio como para el nitrógeno se utilizó el 50 por ciento de la dosis en cada aplicación.

### **Siembra**

La siembra se realizó el 30 de mayo del 2017, se utilizó semilla de maíz híbrido PMX 5 provenientes del programa de maíz de la UNALM, se colocaron cinco semillas por cada maceta, luego de la germinación se escogió las tres mejores plantas.

### **Riego**

El riego se realizó en forma manual, con frecuencias diarias para mantener a capacidad de campo el sustrato, con los volúmenes determinados por la lectura del sensor de humedad del suelo y en base a la ecuación de humedad. Terminada la siembra se realizó un primer riego copioso, para humedecer el sustrato y provocar la germinación de las semillas, las lecturas de las tres semanas iniciales fueron a cinco centímetros de profundidad, para el resto del experimento se las tomó a diez centímetros

## VARIABLES EN ESTUDIO

Las variables que se analizaron son:

### Altura de plantas

Con la ayuda de una regla graduada en cm, se midió la altura entre la base de la planta y la punta de la hoja bandera en centímetros, de las tres plantas de cada unidad experimental, a los 15, 30 y 45 días después de la siembra (Figura 16).



Figura 16: a) altura de planta de maíz en cm a los 15 días después la siembra. b) altura de plantas de maíz en cm a los 45 días después de la siembra

### Peso de plantas de maíz

Transcurridos 45 días de la siembra, se recolectaron las tres plantas de maíz de cada unidad experimental, la parte aérea es cortada en pedazos de 2,00 cm, la raíz es lavada y secada, se tomó la lectura de peso en fresco con la ayuda de una balanza digital (Sartorius CP323 S), luego fueron llevados a la estufa (Venticell LSIS-B2V / VC 222), por 24 horas a una temperatura promedio de 75 °C, para tomar peso seco de la parte aérea y la raíz (Figura 17).



Figura 17: a) Colección de parte aérea de las plantas. b) Picado de follaje para pesado y llevar a estufa. c) Preparación de raíces para pesar y llevar a la estufa.

### Contenido de humedad en planta

Para determinar el contenido de humedad de planta en porcentaje, se utilizó los datos obtenidos de pesos de planta, el cálculo es en base al peso fresco y se utilizó la fórmula:

$$\text{Humedad en planta} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

### 1.9.3 Experimento 3 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en cultivo de *Gypsophila*”

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fertilidad de Suelo de la UNALM, bajo condiciones de invernadero, con el objetivo de evaluar los efectos de la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost con adiciones de fósforo en forma de (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en la recuperación de la capacidad productiva de un suelo dedicados al monocultivo de (*Gypsophila paniculata*) por un lapos de dieciocho años. Se probaron fuentes y dosis de enmiendas y dosis de fósforo (Cuadro 13), para analizar las variables productivas de días a la cosecha, altura de tallo, número de laterales, porcentaje de laterales abiertos, peso fresco y seco tallo y contenido de humedad del tallo.



**Cuadro 13: Tratamientos experimento 3 “Respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en el cultivo de Gypsophila”**

Tratamientos	Sustrato kg/maceta	Compost %	Vermicompost %	Enmienda g/maceta	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) kg/ha	Superfosfato triple g/maceta
1 (COM0,75P 0)	2,50	0,75	0,00	18,00	0,00	0,00
2 (COM0,75P200)	2,50	0,75	0,00	18,00	200,00	0,20
3 (COM0,75P400)	2,50	0,75	0,00	18,00	400,00	0,40
4 (COM1,5P0)	2,50	1,50	0,00	36,00	0,00	0,00
5 (COM1,5P200)	2,50	1,50	0,00	36,00	200,00	0,20
6 (COM1,5P400)	2,50	1,50	0,00	36,00	400,00	0,40
7 (VER0,75P0)	2,50	0,00	0,75	18,00	0,00	0,00
8 (VER0,75P200)	2,50	0,00	0,75	18,00	200,00	0,20
9 (VER0,75P400)	2,50	0,00	0,75	18,00	400,00	0,40
10 (VER1,5P0)	2,50	0,00	1,50	36,00	0,00	0,00
11 (VER1,5P200)	2,50	0,00	1,50	36,00	200,00	0,20
12 (VER1,5P400)	2,50	0,00	1,50	36,00	400,00	0,40

La dosis de la enmienda se determinó en base a dividir el producto del peso del sustrato por el porcentaje de enmienda entre cien.

$$\text{Peso enmienda}(g) = \frac{\text{Peso sustrato}(g) \times \% \text{ enmienda}}{100}$$

Donde:

Peso enmienda, es la cantidad de enmienda en gramos a ser incorporada al sustrato suelo.

Peso sustratos, es el peso en gramos del sustrato suelo (2500 g)

% enmienda, es la dosis de enmienda de los diferentes tratamientos.

La dosis de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se determinó, relacionando el peso de una hectárea de suelo con el peso de sustrato utilizado en la prueba.

Para el ensayo se empleó un modelo Factorial 4x3 con Diseño Completos al Azar (DCA), conto con 12 tratamientos y 4 repeticiones, lo que dio un total de 48 unidades experimentales, consistentes en, una maceta con 2,5 kg de sustrato suelo, en el que se incorporó las dosis de enmienda orgánica en forma de compost y vermicompost y el fósforo, para sembrar una planta de Gypsophila. Para el análisis estadístico de las variables se utilizó la prueba de hipótesis margina LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ) del Modelo Lineal General Mixto del programa estadístico InfoStat/E con especificación del modelo en R.

## **Preparación de sustrato**

El sustrato se preparó tres días antes de la siembra, se tamizó y homogenizó el suelo, luego se procedió a llenar las macetas con 2,50 kilogramos medidos con una balanza (Patrick's en kilogramos), se adicionó la cantidad de compost o vermicompost y de superfosfato triple correspondiente a las dosis. El fertilizante fue molido y tamizado previo a ser incorporado al sustrato para mejorar su distribución.

## **Siembra**

La siembra se realizó el 20 de abril del 2017, para uniformizar la siembra se escogieron las plantas de *Gypsophila* de un grupo de trecientas unidades. Se sembró una planta por cada maceta.

## **Fertilización**

Se aplicó una fertilización complementaria similar para todos los tratamientos, que consistió en 200 ppm de nitrógeno utilizando nitrato de amonio y 150 ppm de potasio empleando cloruro de potasio. Los fertilizantes se aplicaron disueltos en agua fraccionados en tres dosis iguales, para el caso del nitrato de amonio se aplicó a los 18, 28 y 43 días posteriores a la siembra, en tanto que el cloruro de potasio se incorporó transcurrido 20, 30 y 45 días de la siembra.

## **Riego**

Después de sembradas las plantas, en los primeros ocho días se utilizó un nebulizador, los riegos posteriores se realizaron en forma manual, con frecuencias diarias para mantener el suelo a capacidad de campo, los volúmenes de riego fueron calculados con la ecuación de humedad, en base a la lectura del medidor de humedad del suelo, la profundidad a la que se tomaron las lecturas fueron de cinco centímetros a los primeros 21 días y de diez centímetros para los días posteriores.

## **Variables en estudio**

Las variables analizadas son:

### **Días a la cosecha**

Se contabiliza los días transcurridos entre, la fecha de siembra y la fecha de la cosecha del tallo.

### **Altura de tallo**

Para determinar altura de tallo de *Gypsophila* a la cosecha, se utilizó una regla graduada en cm y se mide desde la base hasta el brote más alto del tallo en cada unidad experimental.

### **Número de laterales por tallo**

Cosechado el tallo se procedió a contabilizar los laterales, son todos los laterales con forma y tamaño que se encurtan por debajo de la flor principal (tres inflorescencias superiores) ver (Figura 13).

### **Porcentaje de laterales abiertos**

Se consideró como lateral abierto, el lateral con más del 40 % de sus flores abierta (con color) y se calculó el porcentaje de laterales abiertos con relación al número de laterales del tallo (Figura 13)

### **Peso fresco y peso seco de tallos de *Gypsophila***

Cosechado el tallo se procedió a picarlo a 2,00 cm para tomar el peso fresco en g, luego se colocaron en la estufa (Venticell LSIS-B2V / VC 222) a 75 °C por 24 horas y se determinó el peso seco de tallo en g con la ayuda de una balanza digital (Sartorius CP323 S).

### **Contenido de humedad en tallo**

Con los datos obtenidos de pesos de tallo, se determinó el contenido de humedad del tallo en porcentaje, en base al peso fresco, utilizando la fórmula:

$$\text{Humedad en tallo} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

Humedad en tallo, es el contenido de humedad del tallo medido en porcentaje al peso fresco.

Peso fresco, es el peso fresco de tallo en g.

Peso seco, es el peso seco de tallo en g.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN ESTUDIO

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de laboratorio realizadas con el objetivo de determinar los parámetros que caracterizan, el sustrato suelo, las enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost y el agua utilizada en el riego de los ensayos.

#### 1.10.1 Características físico químico de suelo

El sustrato suelo en estudio es de textura gruesa, de clase textural (Fr.A.) Franco Arenoso, con un pH de 7,90 moderadamente alcalino, es muy ligeramente salino con C.E. 0,42 dS/m, la materia orgánica 0,84 % es bajo, el fósforo disponible 17,2 ppm es alto, el potasio disponible 374 ppm es alto, y la CIC es 8 (Cuadro 14).

**Cuadro 14: Resultados de características físico químicas del suelo**

Características	Valor
Arena (%)	75
Limo (%)	19
Arcilla (%)	6
Clase textural (---)	(Fr.A)
pH (1:1) (---)	7,99
C.E (1:1) (dS/m)	0,42
CaCO <sup>3</sup> (%)	1,90
Materia orgánica (%)	0,84
Fósforo disponible ppm	17,20
Potasio disponible ppm	374,00
CIC	8,00
Ca <sup>+2</sup> (meq/100g)	6,56
Mg <sup>+2</sup> (meq/100g)	0,87
K <sup>+</sup> (meq/100g)	0,52
Na <sup>+</sup> (meq/100g)	0,05
PSB (%)	100

Si bien se observa una baja presencia de materia orgánica, los valores comparados con la arcilla presente 6% podrían ser considerados altos (Arena al 100% es  $\pm 0,1\%$  MO y

Arcilla < 35% es  $\pm 1,8\%$ ), esto implica una mala circulación de agua o problemas de compactación en el suelo. Los suelo tiene una capacidad limitada para proteger física y químicamente la materia orgánica de la biodegradación en sus partículas de arcilla y limo, es por esto que las tasas a las cuales el carbono es mineralizado en el suelo deberían estar relacionados con el grado de saturación de C en esas partículas (Matus *et al.*, 2000). Las adiciones orgánicas típicamente se descomponen más rápidamente en suelos arenosos que en suelos arcillosos, incorporando iguales cantidades de MO, los suelos arcillosos generalmente contienen más MO que los suelos arenosos (Hassink 1994). Largos periodos de monocultivo causan la disminución del contenido de MO del suelo, estos efectos generan una progresiva disminución de su fertilidad (Duval *et al.*, 2015), acumulaciones importantes de elementos aplicados con los fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos lo que provoca la degradación del suelo (Sepúlveda Varas *et al.*, 2012). Otros autores señalan la importancia del contenido de MO en el suelo, para Sodhi *et al.* (2009) la materia orgánica mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, el contenido y calidad de la MO son factores importantes en el mantenimiento de la calidad y fertilidad del suelo, Casas (2012) la MO mejora la estructura del suelo con todas las consecuencias positivas que ello supone, al estabilizar algunos nutrientes en forma orgánica mejora la fertilidad, estimula el desarrollo de raíces y aumenta la población de microorganismos y la fauna del suelo. FAO (2016) señala que, en general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos, de los cuales, 45% minerales y 5% materia orgánica. Bonanomi *et al.* (2014) señalan que, la disminución del carbón orgánico del suelo COS en los sistemas de producción intensiva es una razón importante de las pérdidas de fertilidad del suelo.

### **1.10.2 Granulometría de la fracción arena del suelo**

Los datos indican una presencia mayoritaria de arenas entre medias 20,72%, finas 19,12% y muy finas 11,54%, en tanto que la arena gruesa 7,02% y muy gruesa 1,79% son una pequeña parte del componente arena (Cuadro 15).

Al ser un suelo de textura gruesa, de clase textural (Fr.A.) Franco Arenoso, con un 75% de fracción arena (Cuadro 14), con datos del análisis granulométrico que indican un predominio de arena media, arena fina y arena muy fina con un valor total del 51,38% de la fracción sólida del suelo (Cuadro 15), pudiera ser la causa de un predominio de poros

pequeños dando como resultado un mal drenaje y compactación del suelo con baja circulación de oxígeno.

**Cuadro 15: Resultado de granulometría de fracción arena del suelo**

<b>Características</b>	<b>Tamaño</b>		<b>Valor</b>
Grava	> 2 mm	(%)	4,78
Arena muy gruesa	1 - 2 mm	(%)	1,70
Arena gruesa	0,5 - 1 mm	(%)	7,02
Arena media	0,25 – 0,50 mm	(%)	20,72
Arena fina	0,125 – 0,25 mm	(%)	19,12
Arena muy fina	0,05 – 0,125 mm	(%)	11,54

Al respecto, Casas (2012) señalan que, predominio de arenas finas o muy finas favorecen la formación de poros muy pequeños en el suelo, donde el agua puede quedarse inmovilizada, provocando problemas de drenaje deficiente y falta de oxígeno en el suelo. FAO (2016) señalan que, dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse, los segundos tienen un diámetro lo suficientemente pequeño como para que el agua pueda quedar retenida en ellos por tensión superficial. Por su parte Ding *et al.* (2016) manifiesta que, todas las partículas de suelo se supone que son casi esféricas, y el tamaño medio de los poros alrededor de las partículas aumentó progresivamente con el tamaño de partícula.

### 1.10.3 Humedad del suelo

De la prueba de Humedad del suelo, por el método de Humedad Equivalente, los datos obtenidos son: con la humedad gravimétrica del suelo 18,97%, la capacidad de campo es 19,09 % y punto de marchites es 10,31 %, (Cuadro 16).

**Cuadro 16: Resultados de humedad del suelo**

<b>Características</b>		<b>Valor</b>
Humedad del suelo	(%)	18,97
Capacidad de Campo	(%)	19,09
Punto de Marchites	(%)	10,31

### 1.10.4 Determinación de la ecuación de humedad del suelo

Graficados los datos obtenidos en el ensayo, con el sensor de humedad (Vigor 308 314) y calculada la humedad volumétrica en el suelo (Figura 18), se determina la ecuación de

humedad del suelo, con el fin de establecer la cantidad de agua de riego necesaria para mantener el suelo en capacidad de campo, ver datos en Anexo 1.

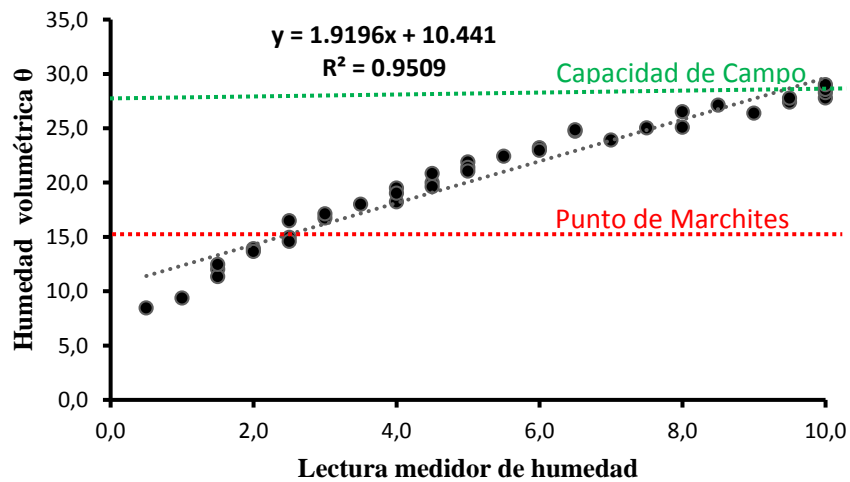


Figura 18: Curva de calibración del medidor de humedad Vigor 308 314

$$Y = 1,92 X + 10,44$$

Donde:

Y es la humedad volumétrica del suelo (Humedad volumétrica  $\theta$ )

X es la lectura del sensor de humedad Vigor 308 314 con escala (0 a 10)

### 1.10.5 Densidad del suelo

El análisis realizado permite determinar la densidad real en 2,50 gr/cc, en tanto que la densidad aparente es de 1,47 gr/cc, con estos datos se establece la porosidad en 41,18 % y la aireación en 13,23 % (Cuadro 17). Se debe considerar que esta determinación se efectuó en un suelo alterado.

Cuadro 17: Resultados de densidad del suelo

Características	Valor
Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	2,50
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,47
Porosidad (%)	41,18
Aireación (%)	13,23

Es un suelo con valores altos de densidad, este parámetro se relaciona con el contenido de MO, al ser un suelo con bajo contenido de materia orgánica su valor de densidad es alto, esto coincide con lo manifestado por Reynolds *et al.* (2002) quienes determinaron



que, la densidad aparente del suelo sigue un patrón aproximado inverso al contenido de MO del suelo. Álvarez *et al.* (2012) señalan que, la densidad aparente del suelo está inversamente relacionada con el carbono orgánico total del suelo.

### 1.10.6 Adsorción de Fósforo en el suelo

De los datos obtenidos se puede observar que al relacionar el P adsorbido y el P en la solución, estos se ajustan exactamente a una isoterma de adsorción, con un coeficiente de correlación de 0,9908 que es altamente significativo y que garantiza la validez de los datos (Figura 19).

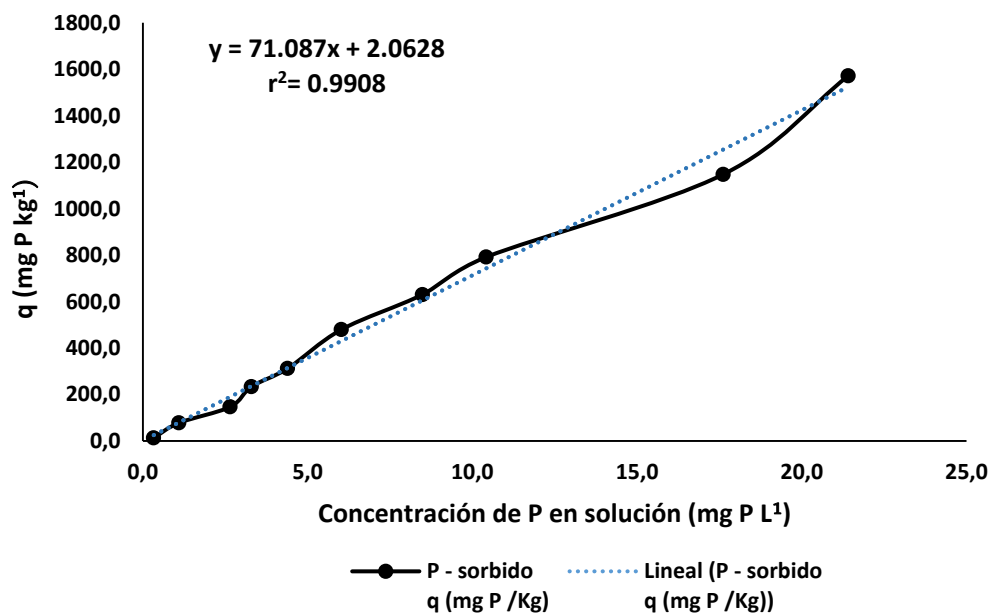
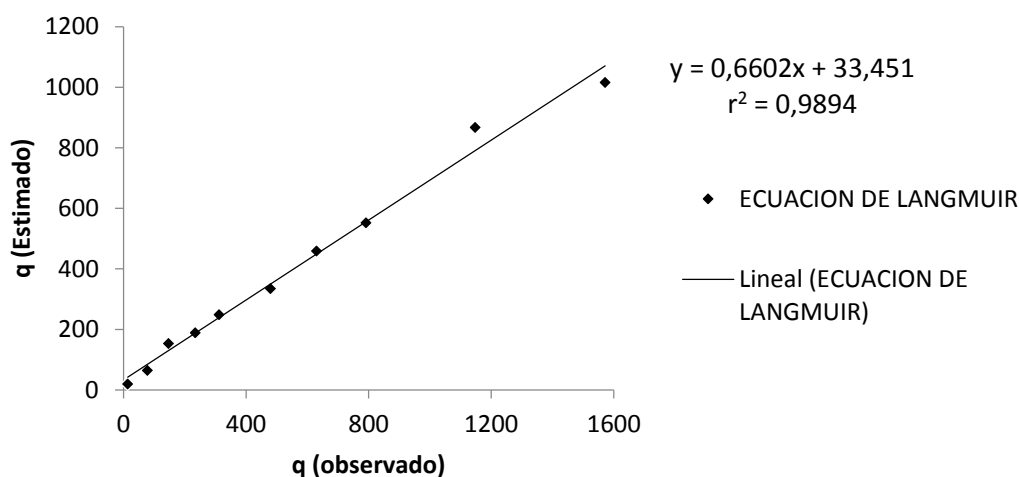


Figura 19. Isoterma de adsorción de ortofosfatos

Los valores de P absorbido (q) observados y los valores de P absorbido (q) estimados se adaptan a un ecuación simple de Langmuir con un coeficiente de correlación de 0,9894 altamente significativo (Figura 20). Los resultados para la elaboración de las isotermas de Langmuir ver en Anexo 2.



**Figura 20. Ecuación simple de Langmuir q (estimado) vs q (observado)**

El valor de máxima capacidad de adsorción de fósforo (MCAP) es de 1,51 mg ads/kg de suelos y la constante de energía de retención (K) es de 0,0197 (Cuadro 18). Es un valor que representa 4,41 kilogramos de P retenidos por hectárea de suelo, que es relativamente pequeño si se consideramos la baja movilidad del fósforo.

**Cuadro 18. Resultados de Capacidad máxima de adsorción de P y constante de energía de retención de P del sustrato suelo**

Suelo	Ecuación de regresión	Coefficiente de correlación (r <sup>2</sup> )	MCAP (mg ads./kg)	Constante de energía de retención (K)
Ecuador	Y = 33,451 + 0,6602X	0,9894	1,51	0,0197

Fassbender, (1966) señala que dos mecanismos son los causantes de la retención de los fosfatos, el primero es la precipitación de los fosfatos de baja solubilidad, el segundo corresponde a una adsorción superficial de los iones fosfatos a los coloides del suelo como la materia orgánica, las arcillas (doble capa difusa) y los hidróxidos principalmente de Fe y Al. La (MCAP) tienen alta asociación con la cantidad de MO del suelo, la cantidad de arcillas y al P asociado con calcio (Zevallos, 1992), en tanto que la constante de energía (K) está más relacionada con la acidez del suelo y la presencia de Al (Sánchez *et al.*, 2010). La (MCAP) está significativamente relacionada a propiedades químicas (contenido de Ca y Mg) y físicas (tamaño de grano, porosidad, densidad aparente, conductividad hidráulica) de las arenas (Del Bubba *et al.*, 2003). La máxima capacidad de adsorción de fósforo se correlacionó positivamente con MO, óxidos de Fe y óxidos de Al (Yan *et al.*, 2013).

### 1.10.7 Caracterización de las enmiendas orgánicas

Las enmiendas orgánicas utilizadas, presentan diferencias en pH, C.E., MO y humedad retenida, siendo el compost el que muestra valores más altos con, pH 6,87, C.E. 12,70 dS/m y MO 40,73%, en tanto que el porcentaje de humedad retenida es mayor para el vermicompost con 42,69% (Cuadro 19).

**Cuadro 19: Parámetros físico químico de compost y vermicompost**

Características		Valores	
		Compost	Vermicompost
pH (1:1)	(---)	6,87	6,51
C.E (1:1)	(dS/m)	12,70	7,16
Humedad	(%)	34,39	42,60
Materia orgánica	(%)	40,73	37,75
N	(%)	2,18	2,10
C/N	(---)	10,83	10,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(%)	1,87	2,76
K <sub>2</sub> O	(%)	1,37	0,64
CaO	(%)	5,30	5,81
MgO	(%)	1,39	1,47
Na <sup>+</sup>	(%)	0,41	0,18
Ácidos Húmicos	(%)	5,04	4,76
Ácidos Fúlvicos	(%)	0,94	0,87
Huminas	(%)	36,48	28,42

La diferencias en los parámetros de las enmiendas orgánicas pueden obedecer a diferentes factores como que, la producción del vermicompost implica mayores procesos de mineralización, por otro lado, el efecto de los microorganismos presentes en el precompost que son sometidos a la flora microbiana de las lombrices en su tracto intestinal, además se utiliza mayor cantidad de agua durante el proceso de vermicompostaje, lo que provoca un mayor lavado de sales, tamaño de partículas menores en el vermicompost permiten mayor retención de humedad. Esto coincide con los resultados de otros autores que manifiestan que: el menor pH en el vermicompost puede deberse a la mineralización de los compuestos de N y P, la liberación de CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos de metabolismo microbiano, y la producción de ácidos húmicos y fúlvicos (Fornes *et al.*, 2012), la descarboxilación inicial de los ácidos orgánicos, la formación de amonio a partir de la degradación de las proteínas (Tognetti *et al.*, 2005). En cuanto a los valores inferiores de la C.E. en el vermicompost, puede ser causado por las características de producción del vermicompost (mayor tiempo), se tiene que los procesos de

mineralización son mayores por lo que el contenido de materia orgánica va a ser menor (Lazcano *et al.*, 2008), hay menos producción de metabolitos solubles tales como amonio (Tognetti *et al.* 2005), el mayor uso de agua permite reducir el contenido de elementos salinos como el potasio y el sodio (Fornes *et al.*, 2012). EL menor contenido de materia orgánica en el vermicompost puede ser causado por el mayor grado de mineralización, debido a que las lombrices de tierra modifican la actividad degradante de la materia orgánica, en un grado mucho mayor que la fase activa del compostaje y esto se refleja en una menor relación C/N (Lazcano *et al.*, 2008). Materiales más humificador como el vermicompost presentaron relaciones C/N con valor de 12, menores a la de los materiales preparados mediante compostaje que tuvieron valores de relación C/N de entre 18, 20 y 22 (Castro *et al.*, 2009).

Los porcentajes de N, K<sub>2</sub>O y Na<sup>+</sup>, son mayores en el compost con 2,18%, 1,37% y 0,41% respectivamente, en tanto el vermicompost presenta porcentajes mayores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con 2,76%, CaO con 5,81% y MgO con 1,47%, estos resultados son coincidentes con los de Fornes *et al.* (2012) quienes, obtuvieron menor disponibilidad de macronutrientes solubles en vermicompost (de forma directa y con precompost) en comparación con compost de procedencia común, por efecto del riego de lechos de lombrices. Lazcano *et al.* (2008) mencionan que, el alto grado de mineralización del vermicompost produce mayores niveles de P disponible. Para Melgarejo *et al.* (1997), la disponibilidad de los nutrientes en los abonos orgánicos no depende de su contenido total en el material, sino de la dinámica del proceso, la temperatura alcanzada que permite el desarrollo de organismos especializados; así algunos elementos pueden llegar a estar más disponibles por efecto del pH, de la humedad y de la aireación. De acuerdo con estos resultados, el vermicompost presenta mejores índices de calidad: menor pH, menor salinidad (C.E), menor concentración de sodio y una mayor humedad retenida, y se establece como un sustrato más adecuado para los propósitos agronómicos.

El contenido de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas es mayor en el compost con valores de (5,04%, 0,94% y 36,48%) respectivamente, resultados que guardan relación con los obtenidos por (Mendoza 2010) utilizando restos de productos hortícolas, con valores de 10,2% de ácidos húmicos en compost y de 8,6% en vermicompost, con 1,45% de ácidos fúlvicos en compost y con 0,7% en vermicompost. El contenido de las sustancias húmicas presentes en la MO del suelo depende de los procesos de humificación, constituyen las formas químicas más susceptibles a las transformaciones que ocurren

durante procesos de compostaje y de vermicompostaje. Las sustancias húmicas constituyen alrededor del 50 por ciento de la materia orgánica del suelo (Martínez *et al.*, 2008). Las sustancias húmicas se forman durante los procesos de biodegradación y estabilización de la MO, la cantidad de estas varía en función de la composición del material de partida y del proceso de elaboración (Smidt, *et al.* 2008). El vermicompostaje de lodos residuales enriquecidos con estiércol de vaca produjo un aumento en los contenidos ácidos húmicos, con un grado de pérdida y humidificación del carbono orgánico total marcado, lo que indica una mejora de la estabilidad de materia orgánica (Li *et al.*, 2011)

### 1.10.8 Características estándar del agua utilizada para riego

Los resultados obtenidos del análisis estándar que se realizó al agua de riego se presenta en el (Cuadro 20), y tiene los siguientes resultados: pH 7,85 es moderadamente alcalina, la conductividad eléctrica es 0,87 dS/m, que lo clasifican como (C3-S1) salinidad afectara a muchas plantas, puede ser usada para riego de casi todos los tipos de suelo.

**Cuadro 20: Análisis físico químico del agua de riego**

<b>Características</b>		<b>Valor</b>
pH (1:1)	(---)	7,85
C.E (1:1)	(dS/m)	0,87
Calcio	(meq/L)	6,35
Magnesio	(meq/L)	1,18
Potasio	(meq/L)	0,12
Sodio	(meq/L)	1,09
<b>SUMA DE CATIONES</b>		<b>8,74</b>
Nitratos	(meq/L)	0,13
Carbonatos	(meq/L)	0,00
Bicarbonatos	(meq/L)	3,25
Sulfatos	(meq/L)	1,61
Cloruros	(meq/L)	3,80
<b>SUMA DE ANIONES</b>		<b>8,79</b>
Sodio	(%)	12,45
RAS	(---)	0,56
Boro	(ppm)	0,50
<b>Clasificación</b>		<b>C3-S1</b>

Fuente: Análisis de Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. (Anexo 3)

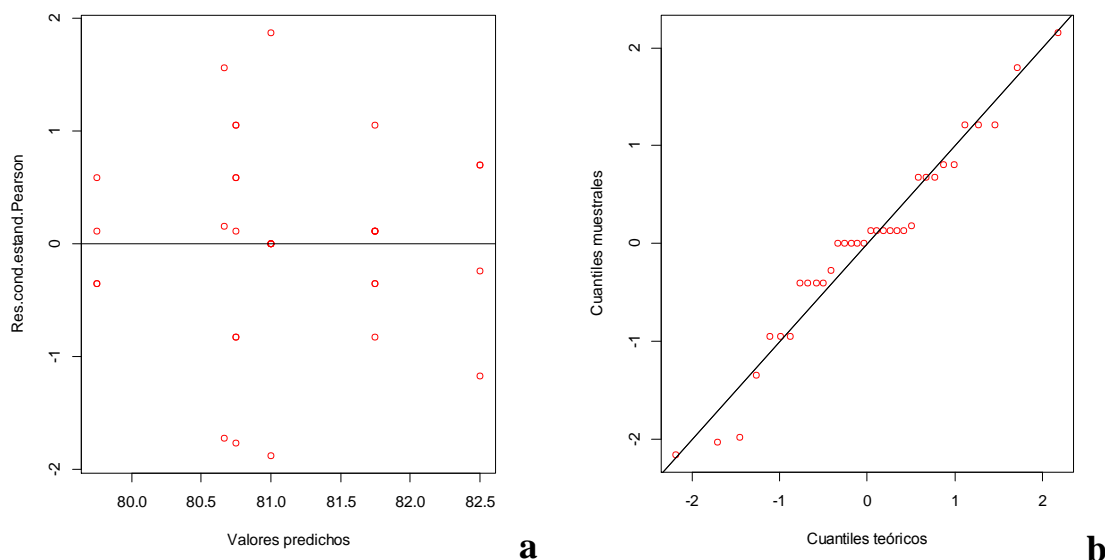
Tres criterios principales definen la calidad del agua de riego: salinidad, sodicidad y toxicidad (García, 2015). El parámetro aceptable de la C.E va de 0,7 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>, en tanto que del RAS va de 0,7 a 0,2 (García, 2012). Agua con contenidos altos de sales, permiten la acumulación de éstas en el suelo, ya que la evaporación directa del agua y la extracción por parte del cultivo provoca que estas se concentren en las capas superficiales del suelo (Valles-Aragón *et al.*, 2017).

### 1.11 EXPERIMENTO 1 “RESPUESTA DEL SUELO A DOSIS CRECIENTE DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN CULTIVO DE GYPSOPHILA”

A continuación se muestran los resultados de la respuesta del cultivo de (*Gypsophila paniculta*), algunas propiedades del suelo y el contenido foliar, a la aplicación de dosis crecientes de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. En el Anexo 4 se encuentran todos los resultados obtenidos.

#### 1.11.1 Días al inicio de floración de *Gypsophila*

Se observa que para la variable días al inicio de floración en la cosecha 1, no se presenta un patrón definido de los valores, lo que significa que existe homogeneidad de la variable (Figura 21 a) y los errores del modelo siguen la línea de tendencia, lo que indica que existe distribución de la variable (Figura 21 b), este procedimiento se realiza en todas las variables en estudio.



**Figura 21: Diagnostico de la variable días al inicio de floración en base a los predichos y residuales a) Homogeneidad de la variable b) Distribución de la variable**

Para la variable días al inicio de floración en la cosecha 1, no existen diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,8044, el coeficiente de variación (CV) es de 2,63% (Cuadro 21).

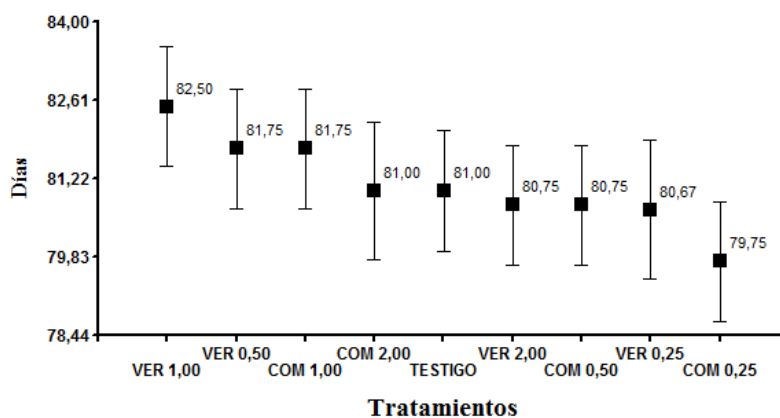
**Cuadro 21: Resultados de Días al inicio de floración de *Gypsophila* cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ )**

Tratamiento	Medias	E.E.	
VER 1,00	82,50	1,06	A
VER 0,50	81,75	1,06	A
COM 1,00	81,75	1,06	A
COM 2,00	81,00	1,23	A
TESTIGO	81,00	1,06	A
VER 2,00	80,75	1,06	A
COM 0,50	80,75	1,06	A
VER 0,25	80,67	1,23	A
COM 0,25	79,75	1,06	A

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

CV = 2,63

De los resultados obtenidos se puede observarse que, el tratamiento (COM 0,25) tiene el menor número de días al inicio de floración con una media de 79,75, en tanto que el tratamiento (VER 1,00) tiene el mayor número de días con un valor medio de 82,50. Al existir homogeneidad y distribución de la variable (Figura 21 a y 21 b), no es necesario modelación de datos, por lo que se observa que los segmentos de rectas del Error Estándar son de tamaños similares, y al no presentar traslape entre el valor medio inferior de un tratamiento con el valor medio superior del siguiente tratamiento, nos indica que no existe diferencias estadísticas significativas para la variable (Figura 22).



**Figura 22: Días al inicio de floración de (*Gypsophila paniculata*) en cosecha 1**

En cosecha 2, la variable días al inicio de floración no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,2281, el coeficiente de variación (CV) es de 6,02 %. (Cuadro 22).

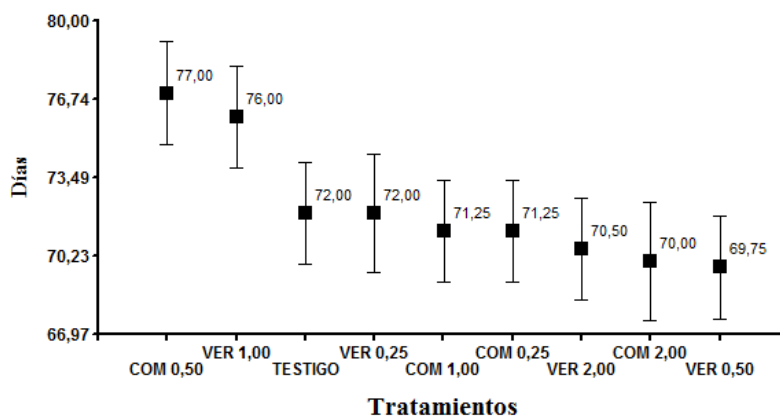
**Cuadro 22: Resultados de Días al inicio de floración de *Gypsophila* cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar.			
COM 0,50	77,00	2,12	A		
VER 1,00	76,00	2,12	A	B	
TESTIGO	72,00	2,12	A	B	C
VER 0,25	72,00	2,45	A	B	C
COM 1,00	71,25	2,12	A	B	C
COM 0,25	71,25	2,12	A	B	C
VER 2,00	70,50	2,12		B	C
COM 2,00	70,00	2,45		B	C
VER 0,50	69,75	2,12			C

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

CV = 6,02%

Los resultados obtenidos muestran que, el tratamiento (VER 0,50) tiene la menor media con un valor de 69,75 días, en tanto que el tratamiento (COM 0,50) tiene la mayor media con un valor de 77,00 días (Figura 23).



**Figura 23: Días al inicio de floración de (*Gypsophila paniculata*) en cosecha 2**

Para la variable días al inicio de floración en la cosecha 3, no hay diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,6896, el coeficiente de variación (CV) es de 10,80 % (Cuadro 23).



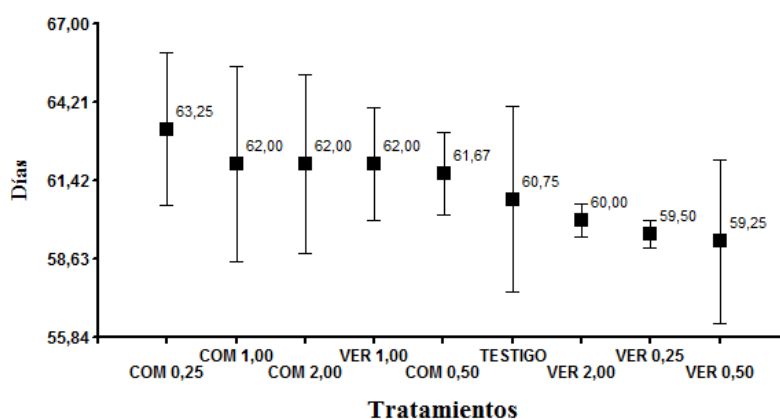
**Cuadro 23: Resultados de Días al inicio de floración de *Gypsophila* cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares, comparación con LSD Fisher ( $\alpha = 0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar	
COM 0,25	63,25	2,72	A
COM 1,00	62,00	3,46	A
COM 2,00	62,00	3,19	A
VER 1,00	62,00	2,00	A
COM 0,50	61,67	1,45	A
TESTIGO	60,75	3,30	A
VER 2,00	60,00	0,58	A
VER 0,25	59,50	0,50	A
VER 0,50	59,25	2,93	A

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

CV = 10,80%

De los resultados obtenidos se observa que, el tratamiento (VER 0,50) tiene el menor número de días con una media de 59,25, en tanto que el mayor valor le corresponde al tratamiento (COM 0,25) con 63,25 días (Figura 24).



**Figura 24: Días al inicio de floración de (*Gypsophila paniculata*) en cosecha 3**

No se observa una influencia de las enmiendas para reducir los días al inicio de la floración, en cosecha 1 los tratamientos con compost tiene la menor media con 80,81 días, para cosecha 2 el TESTIGO tiene la media menor con 70,00 días, en tanto que en cosecha 3 son los tratamientos con vermicompost con 60,19 días. En cuanto a las dosis, en cosecha 1, la media menor de días al inicio de la floración le corresponde a los tratamientos con dosis 0,25 con 79,88 días, para cosecha 2 los tratamientos con dosis 2,00 con 70,88 días y en cosecha 3 los tratamientos con dosis 0,50 con 60,46 días (Cuadro 24).

**Cuadro 24: Promedios de la variable días al inicio de floración en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	<b>Cosecha 1</b>	<b>Cosecha 2</b>	<b>Cosecha 3</b>
<b>Enmiendas</b>			
TESTIGO	81,00	70,00	60,75
COM	80,81	72,44	62,23
VER	81,25	71,56	60,19
<b>Dosis</b>			
0,25	79,88	71,63	61,38
0,50	81,25	72,88	60,46
1,00	82,13	72,63	62,00
2,00	80,88	70,88	61,00

### 1.11.2 Altura de tallos de *Gypsophila* en cm

Para la variable altura de tallos a los 30 días después de la siembra en cosecha 1, se observa que el tratamiento TESTIGO tiene la media más alta con 8,98 cm, en tanto que las dosis 1,00 y 2,00 presenta la media mayor con 8,75 cm, a los 45 días después de la siembra los tratamientos con compost presentan la media más altas con 23,77 cm y 66,34 cm a los 60 días, en tanto que la dosis con las medias más altas es 0,50 con 24,75 cm a los 45 días y 67,48 a los 60 días (Cuadro 25)

**Cuadro 25: Promedios de la variable altura de tallo de *Gypsophila* a los 30, 45 y 60 días de la siembra en cosecha 1 por enmiendas y por dosis**

	<b>Altura de tallos cosecha 1</b>		
	<b>30 días</b>	<b>45 días</b>	<b>60 días</b>
<b>Enmienda</b>			
TESTIGO	8,98	23,40	64,50
COM	8,84	23,77	66,34
VER	8,53	23,41	64,68
<b>Dosis</b>			
0,25	8,55	23,11	65,43
0,50	8,69	24,75	67,48
1,00	8,75	22,73	64,69
2,00	8,75	23,78	64,44

Para cosecha 1, la variable altura de tallos a la cosecha en cm no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,1016, el coeficiente de variación (CV) es de 3,56 % (Cuadro 26).

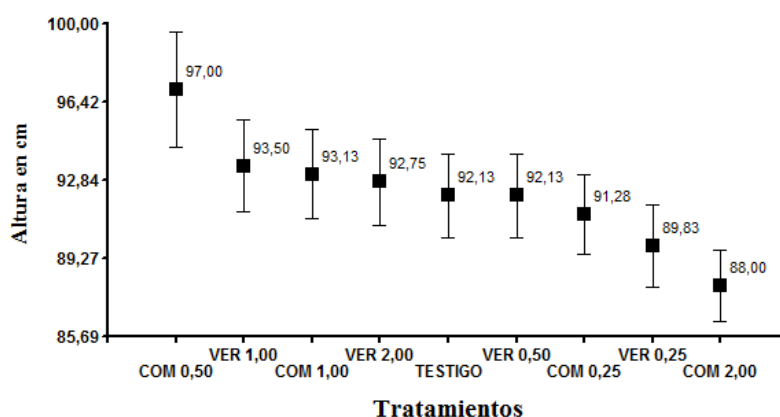
**Cuadro 26: Resultados de Altura de tallo de *Gypsophila* en cm cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 0,50	97,00	2,21	A	
VER 1,00	93,50	2,99	A	B
COM 1,00	93,13	2,47	A	B
VER 2,00	92,75	1,33	A	B
VER 0,50	92,13	0,47	A	B
TESTIGO	92,12	2,39	A	B
COM 0,25	91,28	0,61		B
VER 0,25	89,83	2,68		B
COM 2,00	88,00	1,44		B

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

CV = 3,56%

Los resultados obtenidos muestran que, el tratamiento (COM 0,50) tiene la mayor media con una altura de 97.00 cm, en tanto que el tratamiento (COM 2.00) tiene la menor media con una altura de 88.00 cm (Figura 25).



**Figura 25: Altura de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en cm a la cosecha 1**

La variable Altura de tallos a la cosecha en cm en cosecha 2, no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0594, el coeficiente de variación (CV) es de 6,41 % (Cuadro 27).

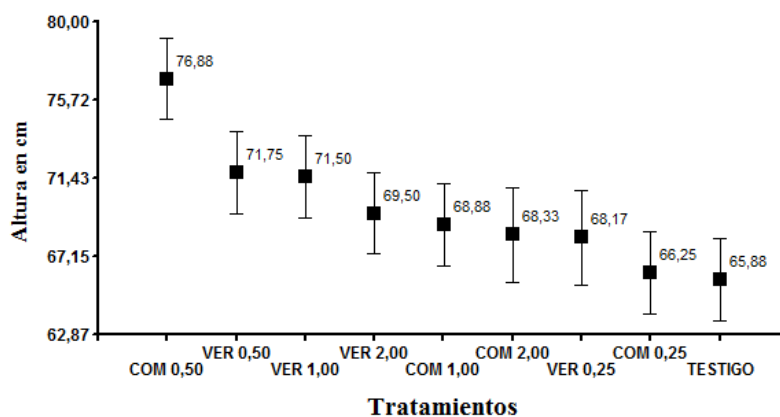
**Cuadro 27: Resultados de Altura de tallo de *Gypsophila* en cm cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 0,50	76,88	2,23	A	
VER 0,50	71,75	2,23	A	B
VER 1,00	71,50	2,23	A	B
VER 2,00	69,50	2,23		B
COM 1,00	68,88	2,23		B
COM 2,00	68,33	2,58		B
VER 0,25	68,17	2,58		B
COM 0,25	66,25	2,23		B
TESTIGO	65,88	2,23		B

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

CV = 6,41%

Los resultados obtenidos permiten observar que, el tratamiento (COM 0,50) tiene la media mayor con una altura de 76,88 cm, en tanto que el tratamiento (TESTIGO) tiene la menor media con una altura de 65,88 cm (Figura 26).



**Figura 26: Altura de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en cm a la cosecha 2**

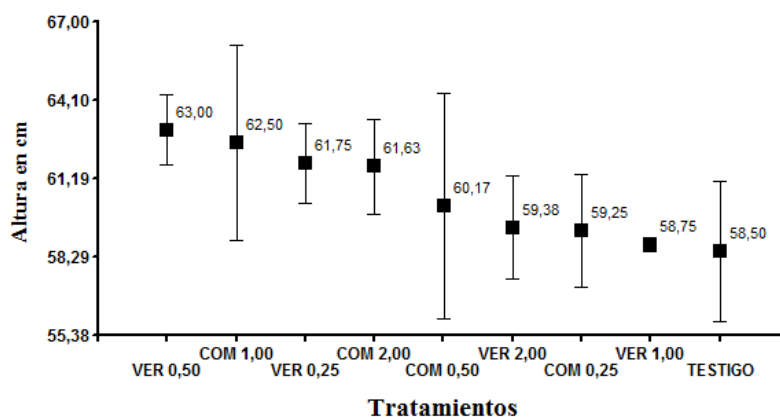
En cosecha 3, la variable Altura de tallos a la cosecha en cm no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0662, el coeficiente de variación (CV) es de 7.81 % (Cuadro 28).

**Cuadro 28: Resultados de Altura de tallo de *Gypsophila* en cm cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar	
VER 0,50	63,00	1,27	A
COM 1,00	62,50	3,61	A
VER 0,25	61,75	1,49	A
COM 2,00	61,63	1,77	A
COM 0,50	60,17	4,18	A
VER 2,00	59,38	1,90	A
COM 0,25	59,25	2,11	A
VER 1,00	58,75	0,25	A
TESTIGO	58,50	2,61	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )  
 CV = 7,81%

Los resultados obtenidos muestran que, el tratamiento (VER 0,50) presenta la mayor media con una altura de 63,00 cm, en tanto que el tratamiento (TESTIGO) presenta la menor media con una altura de 58,50 cm (Figura 27).



**Figura 27: Altura de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en cm a la cosecha 3**

Para el parámetro altura de tallo en cm, se observa que, para la cosecha 1, cosecha 2 y cosecha 3, hay un efecto positivo de los tratamientos con compost y vermicompost frente al testigo, también se aprecia que los valores más altos le corresponden a los tratamientos con la dosis 0,50 (Cuadro 29).

**Cuadro 29: Promedios de la variable altura de tallo en cm en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Enmiendas			
TESTIGO	92,13	65,88	58,50
COM	92,35	70,08	60,89
VER	91,75	70,23	60,72
Dosis			
0,25	89,95	67,21	60,50
0,50	94,56	74,31	61,58
1,00	93,31	70,19	60,63
2,00	90,38	68,92	60,50

Las enmiendas orgánicas se caracterizan por ser materias orgánicas bastante estables, de difícil descomposición (< 5% anual), constituidas por compuestos complejos que van a afectar las propiedades del suelo, tanto físicas (agregación, estructura), químicas (CIC, poder tampón, potencial de liberación de nutrientes y sustancias reguladoras) y biológicas (actividad microbiana). De esta manera, las enmiendas acondicionan al suelo para que la planta pueda absorber mayor cantidad de nutrientes, no necesariamente liberan estos, dando como resultado un mayor rendimiento. Para Atiyeh *et al.* (2000) es posible que, las diferencias en el crecimiento de las plantas entre los tratamientos con vermicompost y los tratamientos con compost, no sean simplemente una función de las diferencias en su contenido nutricional, necesarios, es probable que haya otros insumos, como el aumento de la actividad enzimática y la presencia de microorganismos beneficiosos o de sustancias biológicamente activas que influyen en el crecimiento de las plantas, que podrían estar involucradas. Beltrán-Morales *et al.* (2016) relacionan el crecimiento de las plantas, con la actividad hormonal y con los microorganismos del suelo, muchos de los cuales se encuentran en el vermicompost y compost.

Por otro lado se puede observar que la producción continua de la *Gypsophila* produce la pérdida de la capacidad productiva del suelo, lo que se manifiesta en la disminución en la altura de los tallos conforme transcurren las cosechas.

### 1.11.3 Número de laterales por tallo de *Gypsophila*

En cosecha 1, la variable número de laterales por tallo no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,6322, el coeficiente de variación (CV) es de 5,11 % (Cuadro 30).

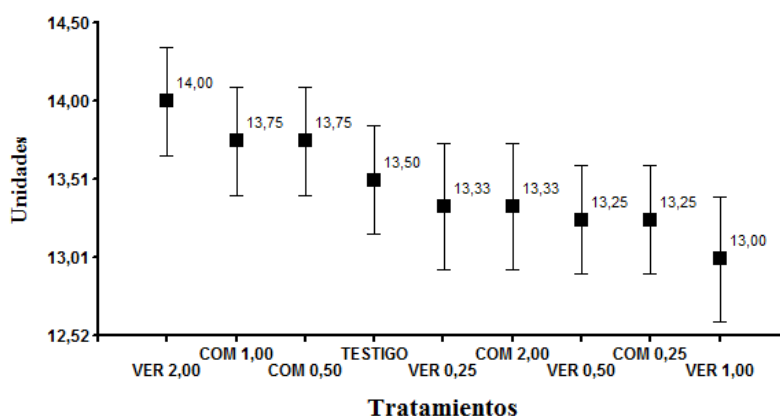
**Cuadro 30: Resultados de Número de laterales por tallos de *Gypsophila* en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar	
VER 2,00	14,00	0,34	A
COM 1,00	13,75	0,34	A
COM 0,50	13,75	0,34	A
TESTIGO	13,50	0,34	A
VER 0,25	13,33	0,40	A
COM 2,00	13,33	0,40	A
VER 0,50	13,25	0,34	A
COM 0,25	13,25	0,34	A
VER 1,00	13,00	0,40	A

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

CV = 5,11%

Los resultados obtenidos muestran que, el tratamiento (VER 2,00) presenta la mayor media con 14,00 laterales, en tanto que el tratamiento (VER 1,00) presenta la menor media con 13,00 laterales (Figura 28).



**Figura 28: Número de laterales por tallo de (*Gypsophila paniculata*) a la cosecha 1**

Para la variable número de laterales por tallos a la cosecha 2, no se presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0846, el coeficiente de variación (CV) es de 10,11 % (Cuadro 31).

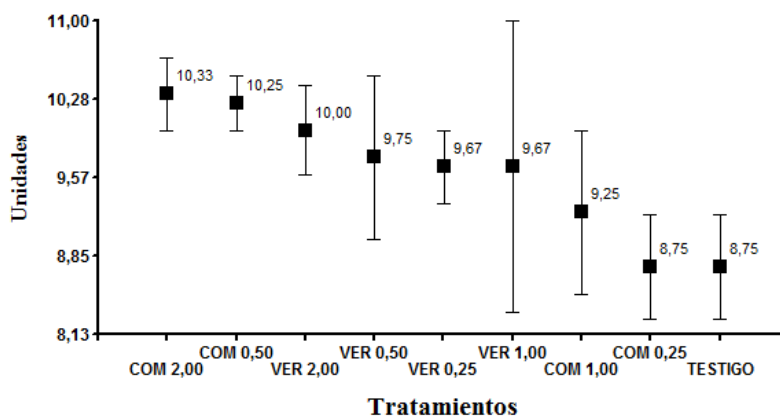
**Cuadro 31: Resultados de Número de laterales por tallos de *Gypsophila* en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 2,00	10,33	0,33	A	
COM 0,50	10,25	0,25	A	
VER 2,00	10,00	0,41	A	B
VER 0,50	9,75	0,75	A	B
VER 0,25	9,67	0,33	A	B
VER 1,00	9,67	1,33	A	B
COM 1,00	9,25	0,75	A	B
COM 0,25	8,75	0,48		B
TESTIGO	8,75	0,48		B

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

CV = 10,11%

Se observa que, el tratamiento (COM 2,00) presenta la mayor media con 10,33 laterales, en tanto que el tratamiento (TESTIGO) tiene la menor media con 8,75 laterales (Figura 29).



**Figura 29: Número de laterales por tallo de (*Gypsophila paniculata*) a la cosecha 2**

Para la cosecha 3, la variable número de laterales no presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0.2393, el coeficiente de variación (CV) es de 9,51 % (Cuadro 32).



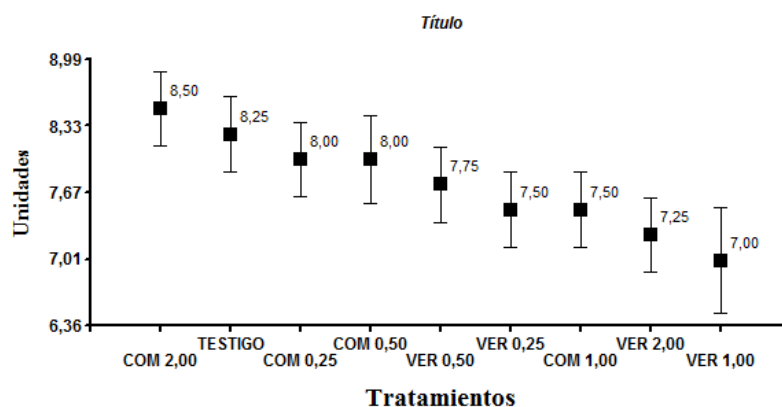
**Cuadro 32: Resultados de Número de laterales por tallos de *Gypsophila* en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 2,00	8,50	0,37	A	
TESTIGO	8,25	0,37	A	B
COM 0,25	8,00	0,37	A	B
COM 0,50	8,00	0,43	A	B
VER 0,50	7,75	0,37	A	B
VER 0,25	7,50	0,37	A	B
COM 1,00	7,50	0,37	A	B
VER 2,00	7,25	0,37		B
VER 1,00	7,00	0,53		B

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

CV = 9,51%

De los resultados obtenidos se observa que el tratamiento (COM 2,00) le corresponde la media más alta con 8,50 tallos, en tanto que el tratamiento (VER 1,00) le corresponde la media menor con 7,00 tallos (Figura 30).



**Figura 30: Número de laterales por tallo de (*Gypsophila paniculata*) a la cosecha 3**

#### 1.11.4 Porcentaje de laterales abiertos de *Gypsophila*

En cosecha 1, la variable porcentaje de laterales abiertos no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,6518, el coeficiente de variación (CV) es de 8,38 % (Cuadro33).

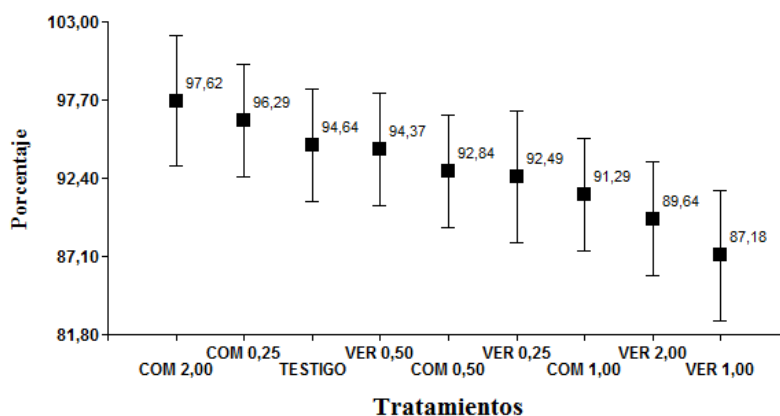
**Cuadro 33: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar	
COM 2,00	97,62	4,42	A
COM 0,25	96,29	3,83	A
TESTIGO	94,64	3,83	A
VER 0,50	94,37	3,83	A
COM 0,50	92,84	3,83	A
VER 0,25	92,49	4,42	A
COM 1,00	91,29	3,83	A
VER 2,00	89,64	3,83	A
VER 1,00	87,18	4,42	A

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

CV = 8,33%

Los resultados obtenidos muestran que, el tratamiento (COM 2,00) presenta la mayor media con el 97,62% de laterales abiertos, en tanto que el tratamiento (VER 1,00) presenta la menor media con el 87,18% de laterales abiertos (Figura 31).



**Figura 31: Porcentaje de laterales abiertos de Gypsophila en la cosecha 1**

Para la variable porcentaje de laterales abiertos por tallo a la cosecha 2, no se presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,2727, el coeficiente de variación (CV) es de 7,33% (Cuadro 34).

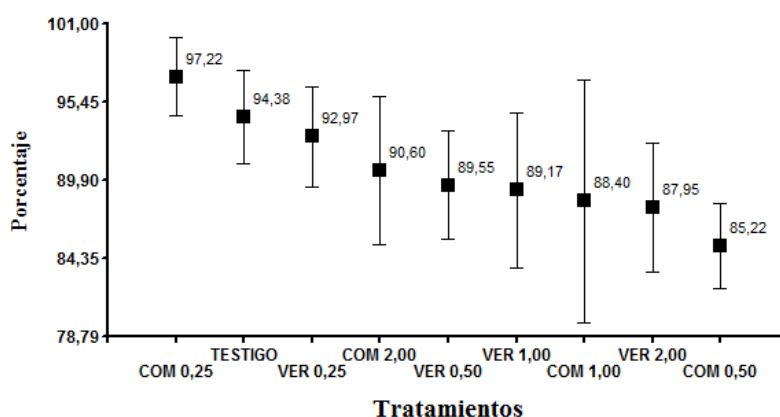
**Cuadro 34: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 0,25	97,23	2,77	A	
TESTIGO	94,38	3,29	A	B
VER 0,25	92,97	3,53	A	B
COM 2,00	90,60	5,26	A	B
VER 0,50	89,55	3,81	A	B
VER 1,00	89,17	5,53	A	B
COM 1,00	88,40	8,60	A	B
VER 2,00	87,95	4,57	A	B
COM 0,50	85,23	3,02		B

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

CV = 7,33%

Se observa que, el tratamiento (COM 0,25) presenta la mayor media con el 97.22% de laterales abiertos, en tanto que el tratamiento (COM 0,50) tiene la menor media con el 85,22% de laterales abiertos (Figura 32).



**Figura 32: Porcentaje de laterales abiertos de Gypsophila en la cosecha 2**

Para la cosecha 3, la variable porcentaje de laterales abiertos no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0.0515, el coeficiente de variación (CV) es de 15,49% (Cuadro 35).

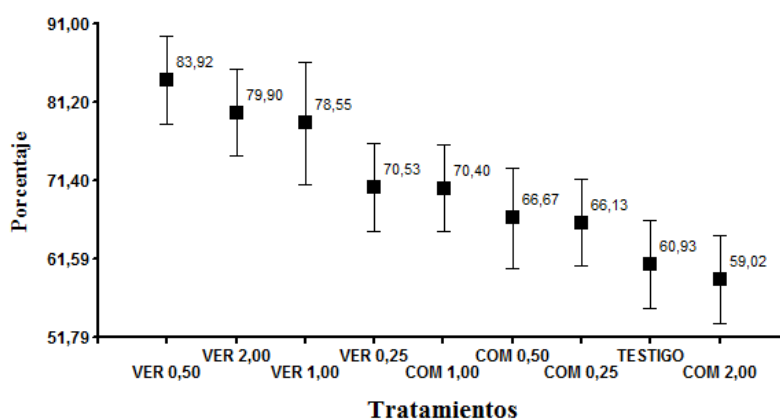
**Cuadro 35: Resultados de Porcentaje de laterales abiertos en tallo de Gypsophila en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error estándar				
VER 0,50	83,92	5,44	A			
VER 2,00	79,90	5,44	A	B		
VER 1,00	78,55	7,70	A	B	C	
VER 0,25	70,53	5,44	A	B	C	D
COM 1,00	70,40	5,44	A	B	C	D
COM 0,50	66,67	6,29		B	C	D
COM 0,25	66,13	5,44		B	C	D
TESTIGO	60,93	5,44			C	D
COM 2,00	59,02	5,44				D

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

CV = 15,49%

De los resultados obtenidos se observa que al tratamiento (VER 0,50) le corresponde la media más alta con el 83.92% de laterales abiertos, en tanto que el tratamiento (COM 2,00) le corresponde la media menor con el 59,02% (Figura 33).



**Figura 33: Porcentaje de laterales abiertos de Gypsophila en la cosecha 3**

Los tratamientos con compost presentan mayor número de laterales en cosecha 1, para cosecha 2 los tratamientos con compost y vermicompost, en tanto que es cosecha 3 al tratamiento TESTIGO le corresponde el promedio mayor, las dosis 0,50 y 2,00 presentan los promedios más altas. Para el porcentaje de apertura de laterales, en cosecha 1 y 2 al tratamiento TESTIGO le corresponde las medias más altas, para cosecha 3 le corresponde a los tratamientos con vermicompost, la dosis 0,50 presenta las mayores promedios (Cuadro 36). Estos parámetros tiene interés desde el punto de vista de producción y comercialización, la Gypsophila se vende por peso, al momento de preparar el producto

los laterales cerrados se eliminan, lo que representa pérdida de peso es decir una disminución en la producción.

**Cuadro 36: Promedios de la variable laterales por tallo y porcentaje de laterales abiertos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	Laterales por tallo			% de laterales abiertos		
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Enmienda						
TESTIGO	13,50	8,75	8,25	94,64	94,38	60,91
COMPOST	13,52	9,56	8,00	94,51	85,40	65,55
HUMUS	13,44	9,56	7,38	87,11	82,10	78,24
Dosis						
0,25	13,25	9,13	7,75	90,52	83,47	68,33
0,50	13,50	10,00	7,88	93,60	87,39	75,30
1,00	13,50	9,13	7,25	85,48	84,79	74,48
2,00	13,67	10,00	7,88	93,63	79,34	69,47

### 1.11.5 Peso fresco de tallo de Gypsophila en g

Para la variable Peso fresco de tallos en g a la cosecha 1, existe diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0028, el coeficiente de variación (CV) es de 4.69 % (Cuadro 37).

**Cuadro 37: Resultados de Peso fresco de tallo de Gypsophila en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
COM 0,50	114,82	2,82	A	
COM 0,25	113,83	0,73	A	
COM 2,00	113,83	2,34	A	
COM 1,00	109,20	2,35	A	B
VER 0,25	108,88	3,57	A	B
VER 2,00	107,74	3,42	A	B
TESTIGO	103,22	4,25		B
VER 0,50	103,09	2,67		B
VER 1,00	102,88	3,59		B

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

CV = 4,69%

Se observa que, el tratamiento (COM 0,50) presenta la mayor media con una peso de 114,82 g, en tanto que el tratamiento (VER 1,00) tiene la menor media con peso de 102,88 g (Figura 34).

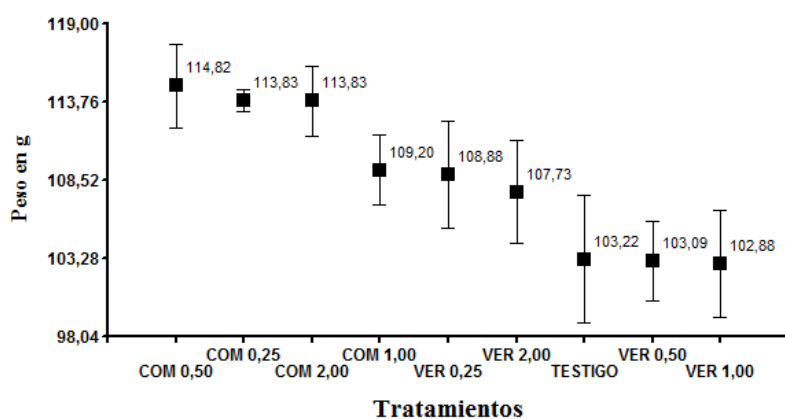


Figura 34: Peso fresco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 1

Para la cosecha 2, existen diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0.0138, el coeficiente de variación (CV) es de 8,69 % (Cuadro 38).

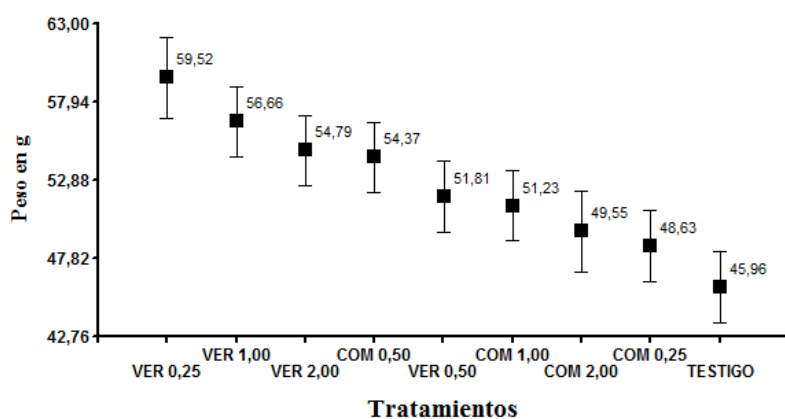
Cuadro 38: Resultados de Peso fresco de tallo de *Gypsophila* en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

Tratamiento	Medias	Error Estándar				
VER 0,25	59,52	2,63	A			
VER 1,00	56,66	2,28	A	B		
VER 2,00	54,79	2,28	A	B	C	
COM 0,50	54,37	2,28	A	B	C	
VER 0,50	51,81	2,28		B	C	D
COM 1,00	51,23	2,28		B	C	D
COM 2,00	49,55	2,63		B	C	D
COM 0,25	48,63	2,28			C	D
TESTIGO	45,96	2,28				D

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

CV = 8,69%

De los resultados obtenidos se observa que el tratamiento (VER 0,25) tiene la media más alta con un peso de 59,52 g, en tanto que el tratamiento (TESTIGO) tiene la media menor con un peso de 45,96 g (Figura 35).



**Figura 35: Peso fresco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 2**

En la cosecha 3, la variable Peso fresco de tallo en g, no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,4393, el coeficiente de variación (CV) es de 10,18 % (Cuadro 39).

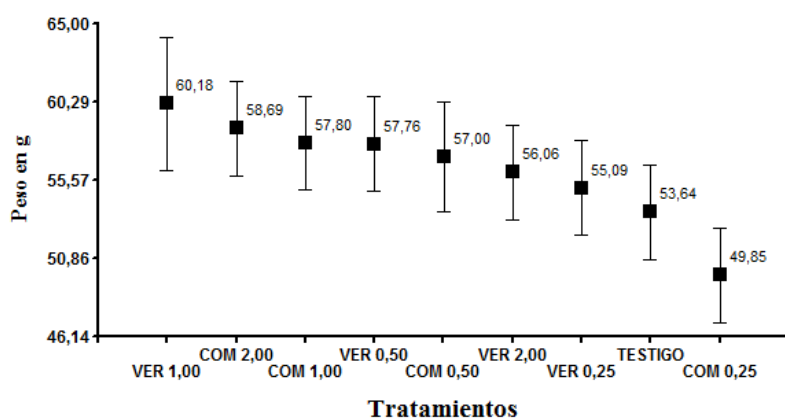
**Cuadro 39: Resultados de Peso fresco de tallo de *Gypsophila* en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
VER 1,00	60,18	4,03	A	
COM 2,00	58,69	2,85	A	
COM 1,00	57,81	2,85	A	B
VER 0,50	57,76	2,85	A	B
COM 0,50	57,00	3,29	A	B
VER 2,00	56,06	2,85	A	B
VER 0,25	55,09	2,85	A	B
TESTIGO	53,64	2,85	A	B
COM 0,25	49,85	2,85		B

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

CV = 10,18%

De los resultados obtenidos se puede observar que el tratamiento (VER 1,00) presenta la media más alta con un peso de 60,18 g, en tanto que al tratamiento (COM 0,25) le corresponde la media menor con un peso de 49,86 g (Figura 36).



**Figura 36: Peso fresco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 3**

En el Cuadro 40, se observa un efecto positivo de las enmiendas orgánicas, los promedios mayores los tiene compost en cosecha 1 y vermicompost en cosecha 2 y 3, además es posible ver que la dosis 0,50 tiene la media mayor en cosecha 1, en tanto que la dosis 1,00 es mayor en cosecha 2 y 3.

**Cuadro 40: Promedios de la variable peso fresco de tallos de *Gypsophila* en gramos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Enmienda			
TESTIGO	103,22	45,96	53,64
COM	112,92	50,94	55,84
VER	104,31	55,70	57,27
Dosis			
0,25	108,68	54,07	52,47
0,50	108,95	53,09	57,38
1,00	106,04	53,94	58,99
2,00	110,78	52,17	57,37

### 1.11.6 Peso seco de tallo de *Gypsophila* en g

Para la variable Peso seco de tallos en g en la cosecha 1, existen diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0101, el coeficiente de variación (CV) es de 3,79 % (Cuadro 41).



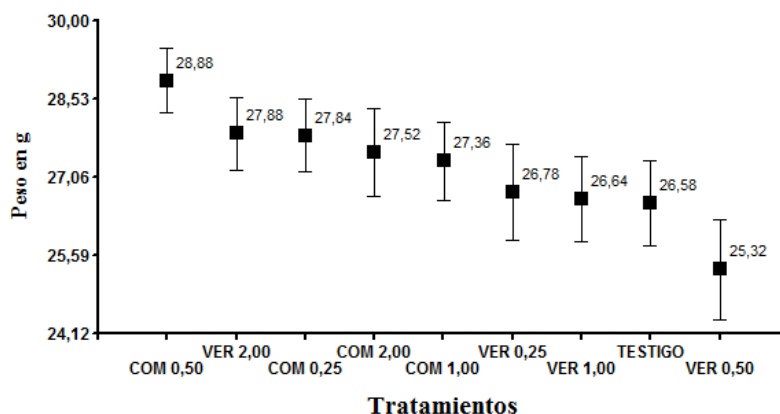
**Cuadro 41: Resultados de Peso seco de tallo de *Gypsophila* en cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar			
COM 0,50	28,88	0,59	A		
VER 2,00	27,88	0,75	A	B	
COM 0,25	27,85	0,13	A	B	
COM 2,00	27,52	0,12	A	B	
COM 1,00	27,36	1,08	A	B	C
VER 0,25	26,78	0,84	A	B	C
VER 1,00	26,64	1,01	A	B	C
TESTIGO	26,58	0,95		B	C
VER 0,50	25,32	0,60			C

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

CV = 3,79%

Se observa que, al tratamiento (COM 0,50) le corresponde la mayor media con un peso de 28,88 g, en tanto que al tratamiento (VER 0,50) le corresponde la menor media con un peso de 25,32 g (Figura 37).



**Figura 37: Peso seco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 1**

Para la cosecha 2, la variable Peso seco de tallo en g, presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0197, el coeficiente de variación (CV) es de 8,91 % (Cuadro 42).

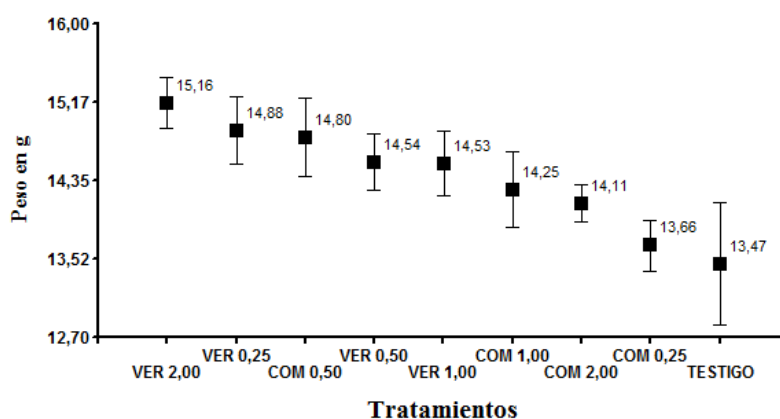
**Cuadro 42: Resultados de Peso seco de tallo de *Gypsophila* en cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
VER 2,00	15,16	0,27	A	
VER 0,25	14,88	0,35	A	B
COM 0,50	14,81	0,41	A	B
VER 0,50	14,54	0,30	A	B
VER 1,00	14,53	0,34	A	B
COM 1,00	14,25	0,40	A	B
COM 2,00	14,11	0,20		B
COM 0,25	13,67	0,27		B
TESTIGO	13,47	0,64		B

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

CV = 8,91%

De los resultados obtenidos se observa que, el tratamiento (VER 2,00) presenta la media más alta con un peso de 15,16 g, en tanto que al tratamiento (TESTIGO) le corresponde la media menor con un peso de 13,47 g (Figura 38).



**Figura 38: Peso seco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 2**

La variable Peso seco de tallos en g en la cosecha 3, no presenta diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,3969, el coeficiente de variación (CV) es de 11,07 % (Cuadro 43).

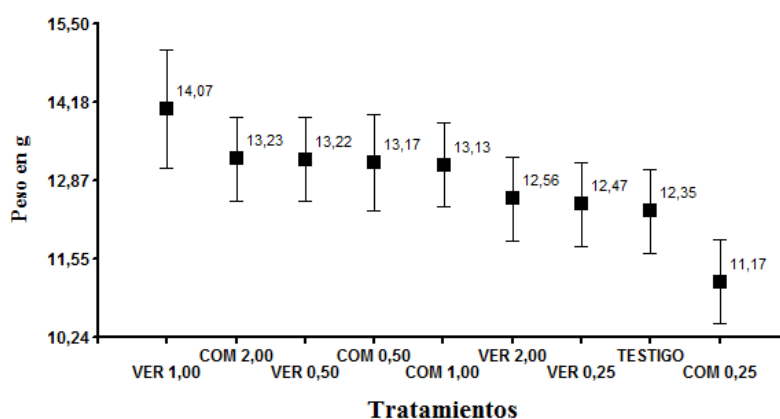
**Cuadro 43: Resultados de Peso seco de tallo de *Gypsophila* en cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
VER 1,00	14,07	1,00	A	
COM 2,00	13,23	0,70	A	B
VER 0,50	13,22	0,70	A	B
COM 0,50	13,17	0,81	A	B
COM 1,00	13,13	0,70	A	B
VER 2,00	12,56	0,70	A	B
VER 0,25	12,47	0,70	A	B
TESTIGO	12,35	0,70	A	B
COM 0,25	11,17	0,70		B

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

CV = 11,07%

Los resultados obtenidos permiten ver que, al tratamiento (VER 1,00) le corresponde la media más alta con un peso de 14,07 g, en tanto que al tratamiento (COM 0,25) le corresponde la media menor con un peso de 11,17 g (Figura 39).



**Figura 39: Peso seco de tallos de (*Gypsophila paniculata*) en g cosecha 3**

Los tratamientos con compost y vermicompost para las tres cosechas muestran un efecto positivo en el peso seco de tallos de *Gypsophila*, se puede observar que, los valores más altos le corresponden a los tratamientos con compost en cosecha 1, en tanto que los tratamientos con vermicompost son mayores en cosecha 2 y cosecha 3. Para la dosis, en la cosecha 1 las medias más altas le corresponden a la dosis 2,00 en cosecha 2 a la dosis 0,50 y en cosecha 3 a la dosis 1,00 (Cuadro 44). Estos resultados permiten señalar que conforme transcurren las cosechas el suelo pierde su capacidad productiva, lo que se manifiesta en la disminución del peso seco de los tallos, en definitiva hay una degradación del suelo con el cultivo continuo de *Gypsophila*.

**Cuadro 44: Promedios de la variable peso seco de tallos en gramos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Enmiendas			
TESTIGO	26,58	13,47	12,35
COM	27,90	14,21	12,68
VER	26,38	14,78	13,08
Dosis			
0,25	26,76	14,27	11,82
0,50	27,10	14,67	13,20
1,00	27,00	14,39	13,60
2,00	27,70	14,64	12,89

Las enmiendas orgánicas tiene un efectos positivo en el contenido de materia seca de los tallos de *Gypsophila*, el compost y vermicompost permiten entregar mejores condiciones para una mayor disponibilidad de nutrientes que la planta puede extraer y favorece la presencia de microorganismos causantes de la producción de enzimas que estimulan el desarrollo de las plantas, con referencia a esto, Hernández (2011) encontró un mayor rendimiento de materia seca en plantas de tomate en los tratamientos con compost y vermicompost sin presentar diferencias significativas entre estos, en tanto que los menores rendimientos los obtuvo con el testigo. Tognetti *et al.* (2005) señalan que, cuando se aplicaron compost y vermicompost al suelo degradado y se sembraron con raigrás, se produjeron rendimientos significativamente mayores en comparación con los controles; que esta mejora se debió a que las enmiendas orgánicas favorecieron al incremento del pH en el suelo, la reducción de la acidez, el incremento de la disponibilidad de (Ca, Mg, K, N, y P), favoreció la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y el porcentaje de materia orgánica. Para Beltrán-Morales *et al.* (2016) las enmiendas suministran todos los nutrientes necesarios para el buen desarrollo del cultivo. En tanto que para Jaurixje *et al.* (2013) la incorporación de enmiendas orgánicas, presentan mayores valores de respiración basal y biomasa microbiana lo que mejora las condiciones físicas del suelo.

### **1.11.7 Contenido de humedad en tallo de *Gypsophila* en porcentaje**

Para la variable porcentaje de humedad en tallo para la cosecha 1, se presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0001, el coeficiente de variación (CV) es de 1,32% (Cuadro 45).

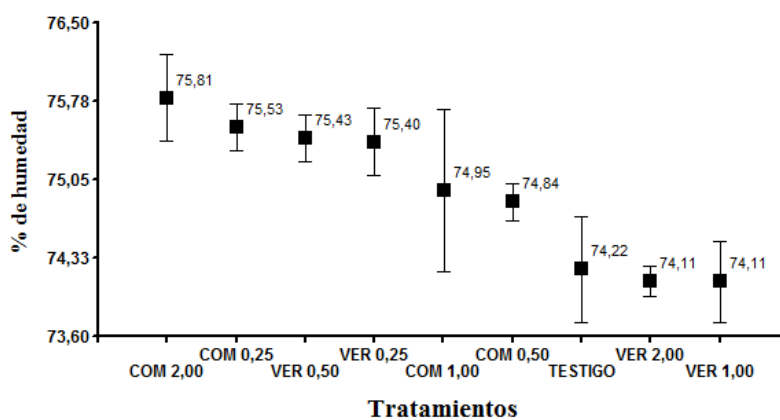
**Cuadro 45: Resultados de Contenido de humedad en tallo *Gypsophila* cosecha 1, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar			
COM 2,00	75,81	0,40	A		
COM 0,25	75,54	0,21	A		
VER 0,50	75,43	0,21	A		
VER 0,25	75,40	0,31	A	B	
COM 1,00	74,95	0,75	A	B	C
COM 0,50	74,84	0,17		B	C
TESTIGO	74,22	0,49		B	C
VER 2,00	74,11	0,14			C
VER 1,00	74,11	0,38			C

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

CV = 1,32%

Se observa que, al tratamiento (COM 2,00) le corresponde la mayor media con una humedad del 75,81% del peso, en tanto que al tratamiento (VER 1,00) le corresponde la menor media con una humedad del 74,1% de peso (Figura 38).



**Figura 40: Porcentaje de humedad en tallo de (*Gypsophila paniculata*) cosecha 1**

Para la cosecha 2, la variable porcentaje de humedad en tallo presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,0313, el coeficiente de variación (CV) es de 2,32% (Cuadro 46).

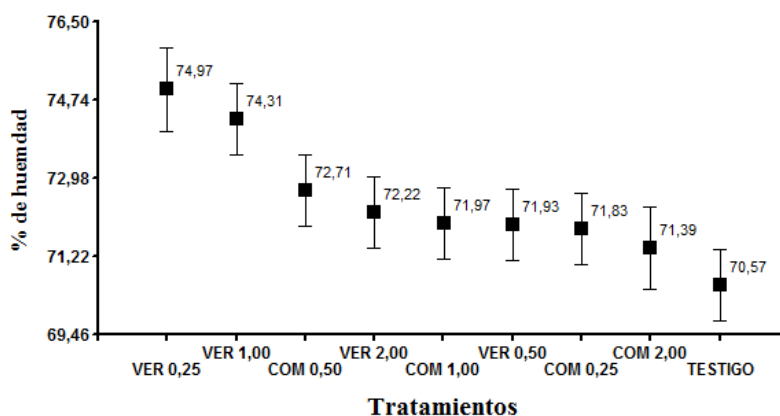
**Cuadro 46: Resultados de Contenido de humedad en tallo *Gypsophila* cosecha 2, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar			
VER 0,25	74,97	0,93	A		
VER 1,00	74,31	0,80	A	B	
COM 0,50	72,71	0,80	A	B	C
VER 2,00	72,22	0,80		B	C
COM 1,00	71,97	0,80		B	C
VER 0,50	71,93	0,80			C
COM 0,25	71,83	0,80			C
COM 2,00	71,39	0,93			C
TESTIGO	70,57	0,80			C

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

CV = 2,32%

Los datos permiten observar que, al tratamiento (VER 0,25) le corresponde la mayor media con una humedad del 74,97% del peso, en tanto que al tratamiento (TESTIGO) le corresponde la menor media con una humedad del 70,57% de peso (Figura 41).



**Figura 41: Porcentaje de humedad en tallo de (*Gypsophila paniculata*) cosecha 2**

La variable porcentaje de humedad en tallo para cosecha 3, no presentan diferencias estadísticas significativas con un p-value de 0,1017 el coeficiente de variación (CV) es de 1,13% (Cuadro 47).

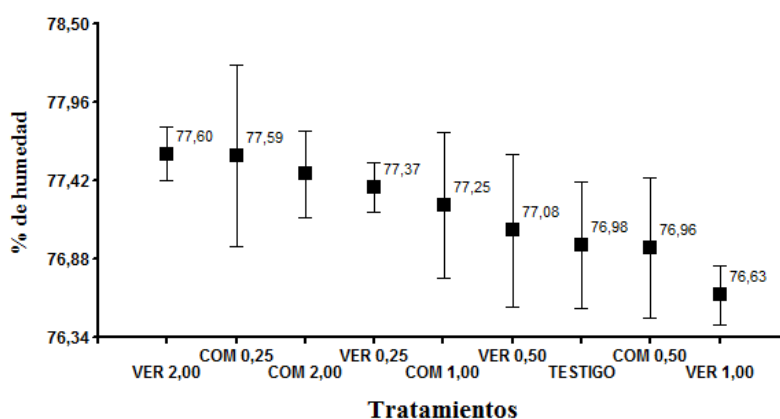
**Cuadro 47: Resultados de Contenido de humedad en tallo *Gypsophila* cosecha 3, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Tratamiento	Medias	Error Estándar		
VER 2,00	77,60	0,18	A	
COM 0,25	77,59	0,63	A	B
COM 2,00	77,47	0,30	A	B
VER 0,25	77,37	0,17	A	B
COM 1,00	77,25	0,50	A	B
VER 0,50	77,08	0,53	A	B
TESTIGO	76,98	0,44	A	B
COM 0,50	76,96	0,48	A	B
VER 1,00	76,63	0,20		B

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

CV = 1,13%

En los datos se observa que, al tratamiento (VER 2,00) le corresponde la mayor media con una humedad del 77,60% del peso, en tanto que al tratamiento (VER 1,00) le corresponde la menor media con una humedad del 76,63% de peso (Figura 42).



**Figura 42: Porcentaje de humedad en tallo de (*Gypsophila paniculata*) cosecha 3**

Se observa un efecto positivo de las enmiendas orgánicas compost y vermicompost en el contenido de humedad de tallos, los promedios más altos le corresponden a dosis 0,25 en cosecha 1 y cosecha 2, mientras que en cosecha 3 le corresponde a dosis 2,00 (Cuadro 48). Es un dato que tiene importancia para la producción y la comercialización del producto, ya que la *Gypsophila* tiene un proceso de apertura en poscosecha en el que es importante la cantidad de agua que pueden acumular los tallos, se vende como flor fresca y por peso.

**Cuadro 48: Promedios del parámetro porcentaje de humedad en tallos en las diferentes cosechas por enmiendas y por dosis**

	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3
Enmiendas			
TESTIGO	74,22	70,57	76,98
COM	75,28	72,33	77,32
VER	74,70	73,89	77,17
Dosis			
0,25	75,35	74,47	77,48
0,50	75,14	72,32	77,02
1,00	74,53	73,14	76,94
2,00	74,96	72,51	77,53

Los resultados de la cosecha 3 son superiores a los de la cosecha 1 y cosecha 2, esto puede tener relación con los factores meteorológicos, al momento de la cosecha 2 la temperatura media diaria es 26,5 °C, para cosecha 3 es de 19 °C, la humedad relativa al momento de cosecha 2 es del 70% y para la cosecha 3 es de 90% (Figura 43).

#### **1.11.8 Influencia de las condiciones meteorológicas**

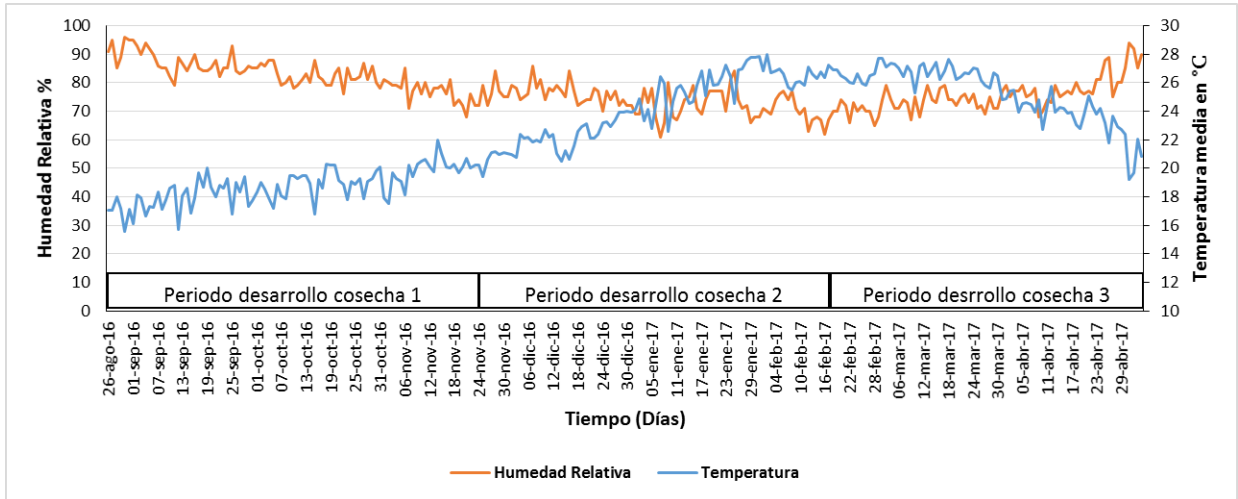
El periodo de desarrollo del cultivo para la cosecha 1 va del 26 de agosto al 23 de noviembre del 2016, para la cosecha 2 el periodo va del 23 de noviembre de 2016 al 17 de febrero de 2017, y para la cosecha 3 el periodo comprende desde el 17 de febrero al 04 de mayo de 2017, todos los datos meteorológicos se pueden ver en el Anexo 5.

En el periodo de desarrollo del cultivo para la cosecha 1, se registraron las temperaturas menores con un promedio de 18,7 °C, para el periodo de cosecha 2 se presenta un incremento de la temperatura con respecto al periodo de cosecha 1, en la primera mitad del periodo se tiene un promedio de 22,2 °C, en tanto que en la segunda mitad el incremento es mayor con un promedio de 26,1 °C, en el periodo para la cosecha 3 sucede lo inverso al periodo de la cosecha 2, en la primera mitad del periodo hay una mayor temperatura con un promedio de 26,7 °C y para la segunda mitad la temperatura disminuye a un promedio de 23,8 °C (Figura 43)

La humedad relativa mayor se registra en el periodo de desarrollo del cultivo para la cosecha 1, con un promedio de 83% de humedad, en los periodos de desarrollo para la cosecha 2 y cosecha 3 se tiene menores niveles de humedad relativa con respecto al

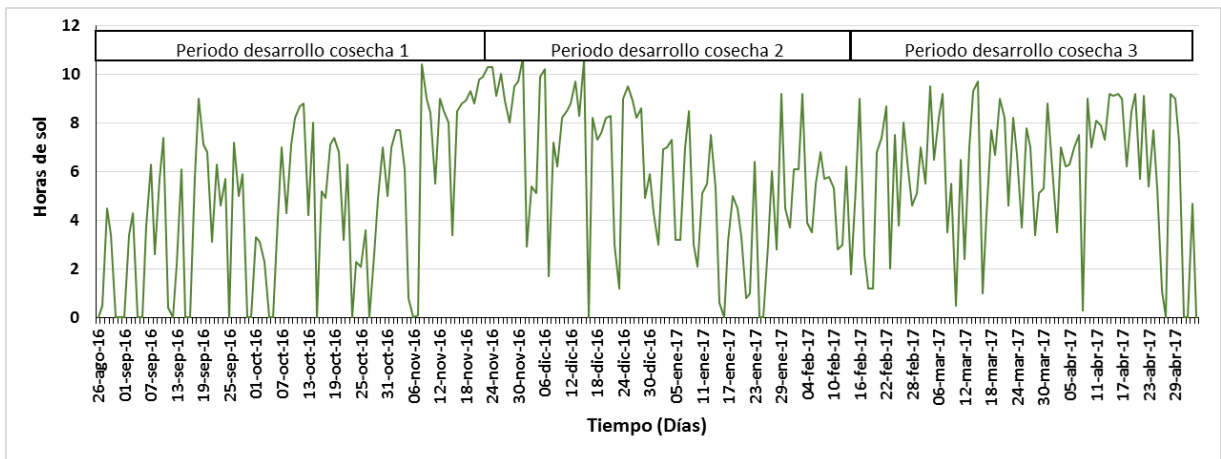


periodo de cosecha 1, con un promedio de 73,6% en cosecha 2 y 75,3% para el ciclo de cosecha 3. Los valores de humedad relativa en los periodos de cosecha 2 y cosecha 3 son similares, pero se puede observar que a finales del periodo de cosecha 3 hay un incremento de la humedad con respecto al periodo de cosecha 2 (Figura 43).



**Figura 43. Variación temporal de la Temperatura media diaria en °C y la Humedad Relativa media diaria en % para las tres cosechas de Gypsophila**

En el periodo de desarrollo del cultivo para la cosecha 1 se registra días con menos horas de sol, incluso hay gran cantidad de días con cero horas de sol, en la primera mitad del periodo se tiene un promedio de 3 hora, en la segunda mitad del periodo un promedio de 6 horas, para el periodo de desarrollo para la cosecha 2, se incrementa las horas de sol con respecto al periodo de la cosecha 1, en la primera mitad del periodo hay un promedio de 7,3 horas de sol, para la segunda mitad del periodo el valor disminuye con un promedio de 4,4 hora, en tanto que para el periodo de desarrollo para la cosecha 3 el promedio es de 6 horas de sol (Figura 44).

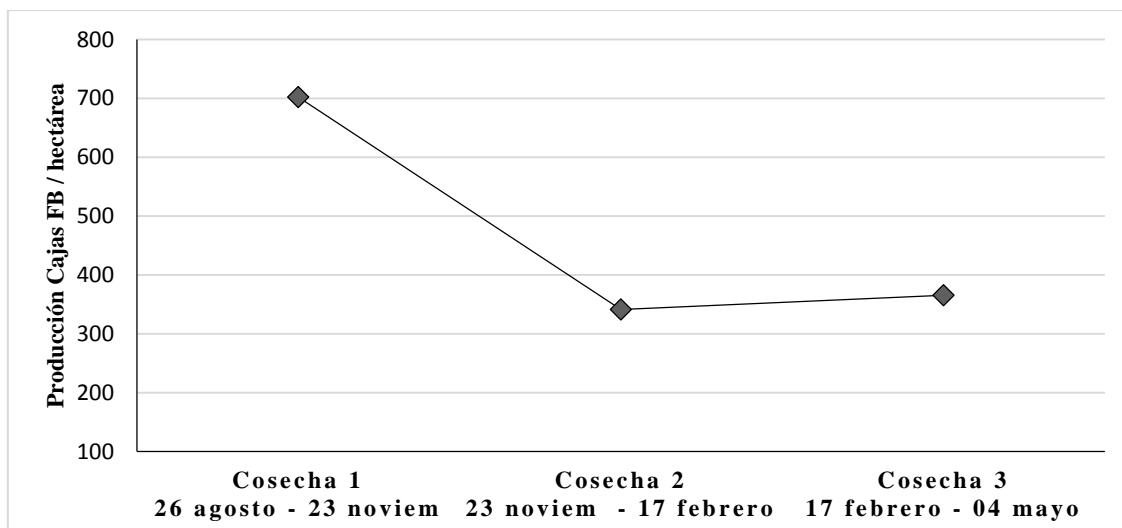


**Figura 44. Variación temporal de Horas de sol diaria para las tres cosechas de Gypsophila**

Los factores climáticos influyen en el desarrollo del cultivo, en el periodo de desarrollo para la cosecha 1, se presentó menor temperatura, mayor humedad relativa y pocas horas de sol, el resultado es un incremento en las variables altura de tallo, peso fresco y peso seco de tallo, en los periodos de desarrollo para la cosecha 2 y cosecha 3 se presentó un incremento en la temperatura con disminución de la humedad relativa y días con mayor número de horas de sol, como resultado se acortan el ciclo de cultivo con menor número de días al inicio de la floración. Esto guarda relación con lo manifestado por Lopez *et al.* (2006) la *Gypsophila* es una planta para la cual, la temperatura es un factor determinante para el crecimiento y el control de floración, temperaturas nocturnas bajas, favorecen el desarrollo vegetativo independiente del número de horas de luz, alta humedad alarga el ciclo de cultivo. Casierra-Posada y Peña, (2010) señalan que con temperaturas medias más elevadas durante el cultivo, se acorta el periodo a entrada de producción, todo esto con fotoperiodo favorable. Se debe tener en cuenta que por condiciones fisiológicas propias de la planta, la producción de la cosecha 1 será de mejor calidad que las cosechas posteriores.

#### **1.11.9 Análisis de producción de *Gypsophila***

Con los datos de la variable peso fresco de tallo en g, se calcula la producción promedio de los tratamientos en cajas FB (40 bunches de 250g) por hectárea para cada una de las tres cosechas, para ello se estimó una densidad de 50,000 plantas por hectárea y una ganancia del 30% del peso en el proceso de apertura. Se puede observar que la producción promedio obtenida en cosecha 1, dobla la cantidad obtenida en la cosecha 2, en tanto que no hay diferencias observables entre la producción de cosecha 2 y producción de cosecha 3 (Figura 45). Considerando que para cosecha 1 se incorporó las enmiendas, la fertilización de fondo, el estado fisiológico de la planta, la influencia de las condiciones meteorológicas (Figura 43 y Figura 44) en el desarrollo del cultivo y los resultados de altura (Cuadro 29) y peso seco de tallos de *Gypsophila* (Cuadro 43), permiten deducir que la explotación continua de la *Gypsophila* causa la degradación del suelo, dando como resultado una disminución de su capacidad de producción.



**Figura 45: Producción promedio en cajas FB por hectárea de (*Gypsophila paniculata*) en los tres ciclos de cosechas con referencia de las fecha**

La *Gypsophila* es una planta que extrae diferentes nutrientes del suelo, entre los que podemos tener el Ca y K (Aragon M, 2002; López *et al.*, 2006), por lo que su explotación continua requiere de la implementación adecuada de programas para compensar los elementos extraídos en cada campaña. Aun cuando los resultados pueden haber sufrido problemas por las condiciones meteorológicas (Figura 41 y Figura 42).

#### **1.11.10 Análisis de costo beneficio de la incorporación de enmiendas en la producción de *Gypsophila***

Para el análisis se consideró, precios de USD 80,00 por caja FB de *Gypsophila* de 40 bunches de 250 g, el saco de 50 kg de compost USD 4,00 y el saco de 50 kg de vermicompost USD 8,00 (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca 2017), el costo de producción de los tratamientos es igual al beneficio del tratamiento TESTIGO, más los costos de las enmiendas y su incorporación.

Se puede observar que el tratamiento COM 0,50 obtiene el mayor valor de relación beneficio costo con 1,10 siendo la mejor alternativa económica (Cuadro 49).

**Cuadro 49: Análisis de relación costo beneficio de las tres cosechas de Gypsohila por tratamientos**

Tratamiento	Producción en cajas FB			Benéfico en USD tres cosechas	Costo enmienda en USD	Costo incorporar enmiendas en USD	Costo producción en USD	Beneficio / Costo
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3					
	TESTIGO	670,93	298,73					
COM 0,25	739,91	316,06	324,06	110402,50	880,00	30,00	106377,05	1,04
COM 0,50	746,31	353,41	370,48	117615,77	1760,00	45,00	107272,05	1,10
COM 1,00	709,78	332,98	375,73	113479,60	3520,00	90,00	109077,05	1,04
COM 2,00	739,87	322,10	381,45	115473,80	7040,00	180,00	112687,05	1,02
VER 0,25	672,98	386,88	358,09	113435,40	1760,00	30,00	107257,05	1,06
VER 0,50	670,07	336,78	375,44	110583,20	3520,00	45,00	109032,05	1,01
VER 1,00	668,70	368,27	391,17	114251,80	7040,00	90,00	112597,05	1,01
VER 2,00	700,28	356,15	364,41	113666,80	14080,00	180,00	119727,05	0,95

### 1.11.11 Parámetros físico químicos de sustrato suelo al finalizar la cosecha 1 y la cosecha 3

La incorporación de las enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost tienen influencia sobre los parámetros físicos y químicos del suelo. Comparando con los valores iniciales del sustrato, el valor de pH disminuye luego de la cosecha 1, siendo más notorio en los tratamientos con dosis (0,50), en tanto que se nota un aumento de los valores de pH terminada la cosecha 3 y este efecto es más notorio en las dosis (0,25). La C.E. no varía en forma notoria después de la cosecha 1, en tanto que terminada la cosecha 3 el aumento es significativo en los tratamientos con enmiendas, especialmente en el compost y con la dosis de (2,00). La variación de los carbonatos de calcio CaCO<sub>3</sub> no es relevantes. Para el porcentaje de materia orgánica, los tratamientos con enmiendas presentan valores más altos en especial con las dosis de (2,00). La disponibilidad de P y K es mayor en los tratamientos con compost y vermicompost en dosis de (2,00). La capacidad de intercambio catiónico CIC, disminuye en los tratamientos con enmiendas luego de la cosecha 1, terminada la cosecha 3 los valores de los tratamientos con enmiendas tienen un ligero incremento, en tanto que el valor del tratamiento testigo disminuye luego de cosecha 1 y cosecha 3. Para los cationes cambiante luego de la cosecha 1, los valores del Ca<sup>2+</sup> y el K<sup>+</sup> disminuyen en tanto que los del Mg<sup>2+</sup> y el Na<sup>+</sup> presentan un ligero aumento, terminada la cosecha 3 el Ca<sup>2+</sup> y el Na<sup>+</sup> presentan valores mayores, en tanto que el Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> presentan valores menores con relación a los presentados al término de la cosecha 1. (Cuadro 50).

**Cuadro 50: Promedios de las características del suelo por enmiendas y por dosis luego de cosecha1 y cosecha3 frente al sustrato suelo inicial**

Elemento	pH	C.E.	CaCO <sub>3</sub>	M.O.	P	K	CIC	Cationes Cambiables				
Tratamiento	( 1:1 )	(1:1) dS/m	%	%	ppm	ppm	meq/100g	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Inicial		8,00	0,96	2,00	0,84	13,90	378,00	10,24	8,06	1,18	0,81	0,18
Enmiendas												
Cose 1	TESTIGO	7,78	1,00	2,00	0,49	10,40	230,00	9,28	7,51	1,12	0,47	0,18
	COM	7,87	1,13	2,03	1,02	19,13	275,25	7,72	5,58	1,29	0,62	0,23
	VER	7,83	0,98	2,08	0,90	19,08	252,50	8,16	6,08	1,29	0,58	0,21
Cose 3	TESTIGO	8,63	1,57	1,80	0,46	11,80	110,00	8,00	6,09	1,17	0,27	0,48
	COM	8,32	2,18	1,85	1,04	19,28	122,75	8,00	6,13	1,10	0,29	0,48
	VER	8,35	1,96	1,85	1,02	26,55	106,50	8,28	6,42	1,12	0,26	0,48
Dosis												
Cose 1	0,25	7,93	0,97	2,10	0,85	12,05	247,00	7,84	5,88	1,18	0,58	0,20
	0,50	7,79	1,05	2,00	0,91	14,60	252,50	7,84	5,94	1,16	0,55	0,19
	1,00	7,89	1,01	2,05	0,89	18,70	256,00	7,60	5,48	1,33	0,57	0,22
	2,00	7,81	1,20	2,05	1,19	31,05	300,00	8,48	6,01	1,48	0,72	0,27
Cose 3	0,25	8,47	1,81	1,90	0,77	16,00	107,50	8,16	6,36	1,08	0,26	0,47
	0,50	8,23	2,03	1,75	0,82	18,35	111,50	7,68	5,98	1,05	0,24	0,41
	1,00	8,30	2,13	1,85	1,23	27,60	113,00	8,16	6,30	1,10	0,26	0,51
	2,00	8,35	2,31	1,90	1,30	29,70	126,50	8,56	6,45	1,22	0,34	0,55

Luego de cosecha 1, se observa que la tendencia de todos los tratamientos con relación al análisis inicial del sustrato suelo, es a disminuir el pH, se puede ver que, el tratamiento (VER 0,50) presenta el menor valor 7,72, luego de la cosecha 3 se observa que para todos los tratamiento hay un incremento del pH con relación a los valores obtenidos luego de la cosecha 1, el tratamiento (TESTIGO) con un valor de 8,63 es el más alto (Cuadro 51). Cabe señalar que las enmiendas actúan como amortiguadores de los cambios bruscos de pH en el suelo por su efecto buffer. Sobre esto, Chang *et al.* (2007) señala que, la MO puede ayudar a amortiguar cambios de pH. Cantero *et al.* (2016) obtuvieron resultados similares con variaciones mínimas en el pH con la incorporación de compost en diferentes dosis, una disminución en el primer ciclo de cultivo de maíz y luego un incremento con un segundo ciclo de cultivo de fríjol. Duran y Henríquez (2010) reportaron incrementos no significativos de pH en el sustrato a dosis crecientes de vermicompost luego de cuatro siembras de sorgo en un periodo de 30 días cada una.

Terminada la cosecha 1, se observa que, en general hay una tendencia a un ligero incremento de la C.E., hay que señalar que el mayor valor lo tiene el tratamiento (VER 2,00) con un valor de 1,30 dS/m, finalizada la cosecha 3, se observa un incremento de

los valores de C.E. con relación a los valores posteriores a la cosecha 1, el mayor valor lo presenta el tratamiento (COM 2,00) con 2,34 dS/m (Cuadro 51). Se puede señalar una influencia de las enmiendas en la C.E. del suelo, los tratamientos con compost presentan mayores incrementos, estos datos guardan relación con la C.E. de las enmiendas, el compost tiene 12,7 dS/m, frente a 7,16 dS/m que le corresponde al vermicompost (Cuadro 19). Estos datos coinciden con los obtenidos por Bonanomi *et al.* (2014) quienes señala que, las parcelas con enmendadas orgánicas presentaron un aumento significativo de Na<sup>+</sup> intercambiable y conductividad eléctrica en comparación con los controles no tratados. Este resultado conduce a realizar otros ensayos de mayor duración, para observar el comportamiento de la C.E. del suelo con incorporaciones periódicas de enmiendas orgánicas.

Los tratamientos con compost y vermicompost, presentan un ligero incremento del CaCO<sub>3</sub> luego de la cosecha 1, en tanto que terminada la cosecha 3, hay una leve disminución de los valores, esta rebaja puede ser causada por la solubilización del CaCO<sub>3</sub>, lo que es muy difícil debido a que estos son insolubles en el suelo (Cuadro 51).

Terminada la cosecha 1, el porcentaje de materia orgánica, muestran un incremento en los tratamientos tanto de compost como vermicompost frente al tratamiento (TESTIGO), que tiene el menor valor con 0,49%, en tanto que el mayor valor le corresponde al tratamiento (COM 2,00) con 1,53%, terminada la cosecha 3, se nota un comportamiento diferenciado de los tratamientos, incrementos en unos casos y disminución en otros, en relación con la cosecha 1, el mayor valor le corresponde al tratamiento (VER 2,00) con 1.33 %, dejando el valor menor para el tratamiento (TESTIGO) con 0,46% (Cuadro 50). Estos resultados se relacionan con el mayor porcentaje de MO del compost 40,73% frente al vermicompost 37,75 (Cuadro 19) y coinciden con los resultados obtenidos por Olivares *et al.* (2012), quienes mencionan que, para el caso del contenido de MO en el suelo, los tratamientos con las medias más altas correspondieron a aquellos que incluyeron composta y vermicomposta con o sin urea, mientras que los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con fertilizantes químicos y al testigo. Castelo-Gutiérrez *et al.* (2016) no encontró diferencias significativas en el contenido de MO en el suelo pero los valor más alto los tiene el tratamiento con compost 0,93% quedando relegado el testigo con el menor valor 0,75%.

Posterior a la cosecha 1, el contenido de P en el suelo se incrementa en los tratamientos con compost y vermicompost con relación a los valores del análisis inicial 13,90 ppm, en el caso del tratamiento (TESTIGO) hay una disminución con un valor de 10,40 ppm, en tanto que el tratamiento (COM 2,00) presenta el valor más alto con 32,70 ppm, luego de la cosecha 3 se observa un incremento en el contenido de P de los diferentes tratamientos, el valor mayor le corresponde al tratamiento (VER 1,00) con 33,80 ppm (Cuadro 51). La incorporación de las enmiendas influye positivamente en la disponibilidad de P en el suelo, esto coincide con lo manifestado por Duran y Henríquez (2010), los que señalan que, la aplicación de vermicompost incrementó la disponibilidad de P en el suelo.

En el contenido de K luego de la cosecha 1, se puede ver que el tratamiento (COM 2,00) presenta el mayor valor con 346,00 ppm y el tratamiento (TESTIGO) el menor valor con 230,00 ppm, hay que tener en cuenta que el alto consumo con relación al valor inicial del contenido de K que es de 378,00 ppm. Terminada la cosecha 3 es más marcada la disminución del contenido de K en todos los tratamientos, siendo el (VER 1,00) el que tiene el menor valor con 101,00 ppm en tanto que el mayor valor le corresponde a (COM 2,00) con 145,00 ppm, se nota una clara influencia de las enmiendas en la disponibilidad de K en el suelo, pero el consumo es rápido, coincidente con lo que mencionan Aragon M (2002) y López *et al.* (2006) en relación a que la *Gypsophila* es un cultivo con altos requerimientos de Ca y K especialmente en las etapas finales del cultivo (Cuadro 51).

Para la CIC, terminada la cosecha 1, el tratamiento (TESTIGO) y el (VER 2,00) con 9,28 meq/100g tienen el valor más alto, en tanto que el valor menor lo tiene el tratamiento (COM 1,00) con 7,52 meq/100g, estos valores son menores al valor del CIC del sustrato inicial que es de 10,24 meq/100g, luego de la cosecha 3 el mayor valor le corresponde nuevamente al tratamiento (VER 2,00) con 8,80 meq/100g, siendo en general las diferencias mínimas con los valores de la cosecha 1. De manera global se nota un mayor valor de la CIC con los tratamientos con vermicompost que coinciden con lo obtenido por Duran y Henríquez (2010), los que señalan que, la aplicación de vermicompost incrementó la disponibilidad de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ , lo que da como resultado una mayor Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (Cuadro 51).

Luego de la cosecha 1, hay una disminución del catión  $\text{Ca}^{+2}$  en los tratamientos con compost y vermicompost frente al tratamiento (TESTIGO) que tiene un valor de 7,51 meq/100g, terminada la cosecha 3 los datos son muy similares, presentando el tratamiento

(VER 2,00) el mayor valor con 6,78 meq/100g. De la misma manera, terminada la cosecha 1, el catión  $K^+$  disminuye, y esto se repite terminada la cosecha 3, en ambos caso el tratamiento (COM 2,00) presenta el valor más alto con 0,85 y 0,41 meq/100g respectivamente. Cabe señalar, que no se observa que la aplicación de enmiendas mejoran la disponibilidad de  $Ca^{+2}$  y  $K^+$ , particular que guarda relación con lo manifestado por Aragon M (2002) y López *et al.* (2006) sobre los altos requerimientos de Ca y K que tiene el cultivo de *Gypsophila paniculta*. Para el catión  $Mg^{+2}$ , luego de la cosecha 1 es notorio un incremento en los tratamientos con enmiendas, presentando el valor más alto el tratamiento (COM 2,00) con 1,48 meq/100g, este tratamiento repite el valor más alto luego de la cosecha 3 con 1,22 meq/100g valor similar al tratamiento (VER 2,00), hay que mencionar que no se observa un absorción alta de  $Mg^{+2}$  por parte de la *Gypsophila*.

Los tratamientos con enmiendas presentan un incremento del catión  $Na^+$  terminadas la cosecha 1 y cosecha 3, el valor más alto le corresponde al tratamiento (COM 2,00) con 0,29 meq/100g luego de cosecha 1 y 0,57 meq/100g terminada la cosecha 3 (Cuadro 51). Es posible que este aumento está asociado al incremento de la C.E. y la disminución del catión  $K^+$  en el suelo, estos datos guardan relación con lo manifestado por Bonanomi *et al.* (2014) quienes indican que, las parcelas con enmendadas orgánicas presentaron un aumento significativo de  $Na^+$  intercambiable.

Castro *et al.* (2009) señala que la tendencia general es que los abonos orgánicos con altas concentraciones de nutrimentos tienen mayor posibilidad de aportar igualmente mayores cantidades de nutrimentos al sistema luego de su descomposición y que no siempre un abono que contenga más nutrimentos totales es el que los libera con más facilidad.

En cuanto a la densidad aparente los tratamiento con las enmiendas en forma de compost y vermicompost tienen los menores valores siendo los tratamientos (COM 2,00), (VER 0,50), (VER 1,00) y (VER 2,00) los más bajos con 1,35  $g/cm^3$ , en tanto que el mayor valor corresponde al tratamiento (TESTIGO) con 1,41  $g/cm^3$  (Cuadro 51), confirmando que la incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost al suelo contribuyen a una mayor cantidad de espacios porosos que pueden ser ocupados por agua y aire. Esto tiene relación con los valores obtenidos por Olivares *et al.* (2012) que señalan, que tratamientos a base de compost y vermicompost presentan menor Da (1,23 y 1,25  $g.ml^{-1}$ ) en tanto que tratamientos a base de fertilización química y el testigo presentan mayor Da (1,28 y 1,34  $g.ml^{-1}$ ). Saez (2000) menciona que las enmiendas



orgánicas como el compost poseen la facultad de enmendar las características del suelos, al disminuir la densidad aparente se mejora la estabilidad estructural, la capacidad de retención de agua, la porosidad y la permeabilidad, mejora su capacidad de intercambio catiónico, además por efecto de su oxidación lenta se produce gas carbónico, lo que contribuye a solubilizar algunos elementos minerales del suelo y se ve favorecida la actividad biológica por el aporte de un número importante de bacterias y sobre todo su riqueza en materia orgánica la que beneficia el desarrollo de los microorganismos del mismo suelo, que con su actividad estimulan el crecimiento vegetal.

**Cuadro 51: Caracterización físico químicas de sustratos suelo de los diferentes tratamientos en estudio terminado la cosecha 1 y la cosecha 3**

Sustrato	Elemento Tratamiento	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	CIC meq/100g	Cationes cambiabiles meq/100g				Da g/cm <sup>3</sup>
									Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Inicial		8,00	0,96	2,00	0,84	13,90	378,00	10,24	8,06	1,18	0,81	0,18	1,47
Cosecha 1	TESTIGO	7,78	1,00	2,00	0,49	10,40	230,00	9,28	7,51	1,12	0,47	0,18	
	COM 0,25	7,92	1,13	2,10	0,77	11,90	248,00	8,00	6,01	1,23	0,53	0,23	
	COM 0,50	7,86	1,10	1,90	0,92	14,00	251,00	7,68	5,87	1,12	0,53	0,17	
	COM 1,00	7,87	1,18	2,00	0,84	17,90	256,00	7,52	5,39	1,32	0,58	0,23	
	COM 2,00	7,84	1,10	2,10	1,53	32,70	346,00	7,68	5,06	1,48	0,85	0,29	
	VER 0,25	7,93	0,80	2,10	0,92	12,20	246,00	7,68	5,75	1,13	0,62	0,17	
	VER 0,50	7,72	0,99	2,10	0,89	15,20	254,00	8,00	6,02	1,20	0,56	0,22	
	VER 1,00	7,90	0,84	2,10	0,93	19,50	256,00	7,68	5,57	1,35	0,56	0,20	
	VER 2,00	7,78	1,30	2,00	0,85	29,40	254,00	9,28	6,96	1,47	0,59	0,26	
Cosecha 3	TESTIGO	8,63	1,57	1,80	0,46	11,80	110,00	8,00	6,09	1,17	0,27	0,48	1,41
	COM 0,25	8,56	1,86	1,90	0,86	13,30	105,00	8,32	6,59	1,03	0,25	0,44	1,39
	COM 0,50	8,11	2,24	1,70	0,84	15,20	116,00	7,36	5,62	1,05	0,25	0,43	1,39
	COM 1,00	8,28	2,27	1,90	1,18	21,40	125,00	8,00	6,17	1,10	0,26	0,48	1,37
	COM 2,00	8,33	2,34	1,90	1,26	27,20	145,00	8,32	6,12	1,22	0,41	0,57	1,35
	VER 0,25	8,38	1,76	1,90	0,67	18,70	110,00	8,00	6,12	1,12	0,27	0,49	1,39
	VER 0,50	8,34	1,82	1,80	0,80	21,50	107,00	8,00	6,34	1,05	0,23	0,38	1,35
	VER 1,00	8,31	1,98	1,80	1,28	33,80	101,00	8,32	6,43	1,10	0,26	0,53	1,35
	VER 2,00	8,36	2,28	1,90	1,33	32,20	108,00	8,80	6,78	1,22	0,27	0,53	1,35

Al analizar el tratamiento TESTIGO por separado se puede observar que, terminada la cosecha 3 hay un incremento del pH y la C.E. en relación con los valores iniciales del sustrato, con la MO del suelo sucede lo contrario ya que su valor disminuye con el paso de las cosecha es así que el contenido de MO terminada la cosecha 3 es el 50% del valor inicial, el P disminuye luego de cosecha 1 pero se incrementa terminada la cosecha 3, el K y la CIC disminuyen con el transcurso del cultivo en tanto que para el catión Na<sup>+</sup> y el

% Saturación de Na se nota un incremento significativo terminada la cosecha 3, con respecto a los valores de inicio y de terminado la cosecha 1 (Cuadro 52).

**Cuadro 52: Características físico químicas de sustrato del tratamiento TESTIGO**

Sustrato	pH ( 1:1 )	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	P ppm	K ppm	CIC meq/100 g	Na+ meq/100 g	% sat Na
<b>Inicial</b>	8,00	0,96	0,92	13,90	378,00	10,24	0,18	1,76
<b>Cosecha 1</b>	7,78	1,00	0,49	10,40	230,00	9,28	0,18	1,97
<b>Cosecha 3</b>	8,63	1,57	0,46	11,80	110,00	8,00	0,48	6,00

Observando el Cuadro 52, se podría indicar que la *Gypsophila* es un cultivo que degrada el suelo, si consideramos que el pH reacción aumenta en forma paralela a la concentración de sodio y su porcentaje de saturación, motivo por el cual con el transcurso de los ciclos de cosecha la C.E. es mayor, y se incrementa la salinidad del suelo. Conforme transcurren las cosechas, se reduce la M.O. de manera que afecta la CIC, el poder tampón, las propiedades físicas (estructura y la porosidad del suelo), así como los iones disponibles de fósforo y potasio.

La disminución del contenido de MO reduce el poder tampón del suelo lo que puede ser causa del incremento de pH (Chang *et al.*, 2007; Cantero *et al.*, 2016), la materia orgánica del suelo tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y tiende a disminuirlo cuando el pH del suelo es alcalino (Martínez *et al.* 2008) y estos valores de pH podrían ser la principal causa de la baja disponibilidad de P (Orozco *et al.*, 2016), con pH de suelo neutro las dos especies de fosfatos están en forma disponible, con el aumento del pH su disponibilidad disminuye (Mengel y Kirkby, 1987), por otro lado el incremento del catión Na<sup>+</sup> podría ser la principal causa del mayor valor en la C.E. (Cortés-D *et al.*, 2013), la disminución en contenido de K del suelo tiene relación con la alta demanda por parte de la *Gypsophila* (Aragon M, 2002; López *et al.*, 2006) y se debe tener en cuenta que nutrientes rápidamente absorbidos por la planta como el catión K<sup>+</sup> y el anión fosfato presentes en la solución del suelo en bajas concentraciones, son transportados a las raíces principalmente por difusión, por lo que se requiere mantener los niveles de concentración de estos elementos (Mengel y Kirkby, 1987).

#### **1.11.12 Contenido foliar de elementos en (*Gypsophila paniculata*)**

La incorporación de enmiendas orgánicas como compost y vemicompost influyen positivamente en la disponibilidad de elementos en el suelo, esto provoca un incremento

en la absorción de elementos mayores por parte de *Gypsophila*, el contenido foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y sodio se incrementó en los tratamientos con compost y vermicompost en relación con el tratamiento testigo en las tres cosechas, contenidos más altos de calcio le corresponden al tratamiento testigo en cosechas 2 y 3, en tanto que el contenido de azufre es mayor en el tratamiento testigo en las cosechas 1 y cosecha 3. Los contenidos más altos de elementos mayores se pueden observar en las dosis 1,00 y 2,00 en las tres cosechas, con excepción del calcio que presenta contenidos más altos a las dosis 0,25 y 0,50 (Cuadro 53).

**Cuadro 53: Promedios de contenido foliar en porcentaje de elementos mayores por enmiendas y por dosis en las tres cosechas de (*Gypsophila paniculata*)**

Cosecha	Tratamiento	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Na %
Enmiendas								
Cose 1	TESTIGO	1,48	0,10	2,85	5,35	0,47	1,37	0,03
	COM	1,94	0,12	2,89	5,66	0,53	1,31	0,03
	VER	2,08	0,13	2,71	6,20	0,59	1,31	0,03
Cose 2	TESTIGO	2,55	0,11	1,19	8,65	0,52	0,44	0,04
	COM	2,27	0,12	1,26	8,01	0,56	0,44	0,04
	VER	1,40	0,12	1,21	7,59	0,53	0,45	0,04
Cose 3	TESTIGO	2,80	0,10	1,17	7,90	0,28	0,34	0,09
	COM	2,90	0,13	1,26	7,36	0,42	0,33	0,08
	VER	2,60	0,12	1,22	6,85	0,37	0,33	0,07
Dosis								
Cose 1	0,25	1,86	0,12	2,61	5,50	0,52	1,29	0,04
	0,50	1,98	0,12	2,73	6,68	0,56	1,37	0,03
	1,00	2,12	0,12	2,86	5,98	0,60	1,28	0,04
	2,00	2,09	0,15	3,00	5,58	0,56	1,30	0,03
Cose 2	0,25	1,50	0,12	1,26	8,28	0,53	0,45	0,04
	0,50	1,36	0,11	1,14	8,20	0,54	0,44	0,05
	1,00	2,04	0,12	1,19	7,60	0,54	0,48	0,04
	2,00	2,45	0,14	1,35	7,13	0,57	0,41	0,04
Cose 3	0,25	2,90	0,11	1,13	7,87	0,47	0,34	0,08
	0,50	2,75	0,12	1,09	5,95	0,32	0,31	0,07
	1,00	2,65	0,13	1,25	7,68	0,40	0,37	0,07
	2,00	2,70	0,14	1,48	6,93	0,39	0,30	0,08

El suelo en estudio se caracteriza por presentar síntomas de compactación toda vez que presenta efectos positivos a la aplicación de las enmiendas orgánicas, que permiten un mejor balance hídrico, condición adecuada para una mayor absorción de nutrientes.

Incorporar enmiendas orgánicas en el suelo, mejora las características físicas del suelo como la densidad y la formación de agregados con lo que hay una mayor circulación de O<sub>2</sub> en el suelo, El suministro de O<sub>2</sub> es esencial para la absorción de P por las raíces, lo mismo se aplica a otros nutrientes vegetales, la absorción de nutrientes aumenta con el contenido de carbohidratos de la raíz, ya que los carbohidratos actúan como fuente de energía para la absorción de iones durante la respiración. (Mengel y Kirkby, 1987). Agregar compost al suelo provoca diversos efectos benéficos como el aporte de nutrientes, estimula el desarrollo radicular e incorpora microorganismos beneficiosos al suelo implicados en el ciclo de diferentes nutrientes (Laich, 2011).

Para determinar los niveles de los elementos mayores y los elementos menores en las hojas de *Gypsophila*, se utilizó los intervalos para interpretar análisis foliares propuestos por (Calvache, 2001).

En la Figura 46, se observa las variaciones en los contenidos de elementos mayores en las hojas de *Gypsophila* en las tres cosechas. En la cosecha 1 y cosecha 3 el contenido foliar de N, es mayor en los tratamientos con vermicompost, para la cosecha 2 el testigo presenta los niveles más altos, es de señalar que para la cosecha 3 los contenidos de los diferentes tratamientos son similares, los niveles están en el rango deficiente < 3,5%.

En las tres cosechas el contenido foliar de P de los tratamientos con enmiendas orgánicas es mayor al testigo, en cosecha 1 y cosecha 2 los tratamientos con vermicompost presentan los contenidos foliares más altos, para cosecha tres los tratamientos con compost son mayores, los niveles están dentro del rango normal de 0,1 - 0,2%.

El contenido foliar de K de los diferentes tratamientos presenta un comportamiento similar en las tres cosechas de *Gypsophila*, en cosecha 1 los contenidos son superiores a los de las cosechas 2 y 3, hay que señalar que los tratamientos con compost presentan los contenidos más altos en las tres cosechas, los valores están dentro del rango normal 2 a 2,5% en cosecha 1, para cosecha 2 y 3 los valores están por debajo del rango normal.

El comportamiento en las tres cosechas es similar para el contenido foliar de Ca, en cosecha cosecha 1 el contenido mayor lo tienen los tratamientos con vermicompost, en

tanto que para cosecha 2 y cosecha 3 se observa mayores contenidos foliares en el tratamiento testigo, en cosecha 1 los valores están dentro del rango normal 4,1 a 6%, en cosecha 2 y 3 los valores sobrepasan el rango normal.

Los contenidos foliares de Mg de los tratamientos con enmiendas orgánicas son mayores en las tres cosechas, en cosecha 1 es el vermicompost, para cosecha 2 y cosecha 3 es el compost, cabe señalar que en todos los tratamientos se observa una disminución del contenido foliar de Mg en la cosecha 3, el nivel de magnesio es deficiente  $< 0,7\%$ .

El contenido foliar de S de los diferentes tratamientos presenta un comportamiento similar con diferencias mínimas entre los tratamientos, en cosecha 1 los contenidos son superiores a los de las cosechas 2 y 3, hay que señalar que al tratamiento testigo le corresponde los porcentajes de contenidos más altos en las tres cosechas.

El contenido foliar de Na tiene un comportamiento diferentes a los otros elementos mayores, para todos los tratamientos el contenido va en aumentos con el transcurrir de las cosechas, en las cosechas 1 y 2 los contenidos son similares entre el testigo y los tratamientos con compost y vermicompost, en tanto que, para la cosecha 3 el contenido mayor de Na le corresponde al tratamiento testigo.

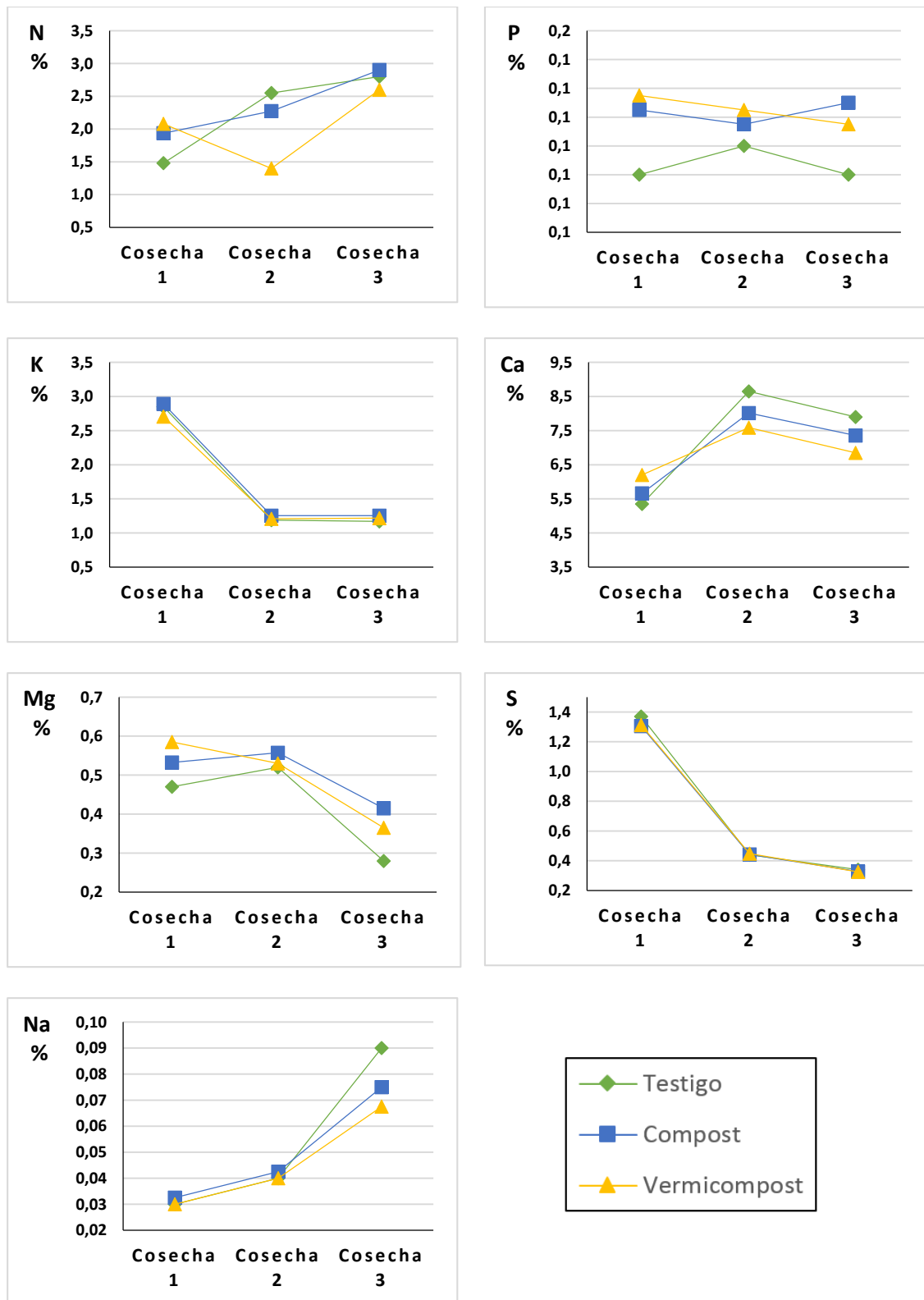


Figura 46: Variaciones por cosecha del contenido foliar en porcentaje de N, P, K, Ca, Mg, S y Na en *Gypsophila*

Estos datos son similares a los obtenidos por Hernández *et al.* (2010), quienes manifiestan que, la aplicación de vermicompost y compost de estiércol de ganado lechero agregado a una tasa de  $18.5 \text{ t ha}^{-1}$  fue suficiente para obtener concentraciones foliares óptimas de K,

Ca, Mg en lechuga, desde el primer año que se incorporó, sin embargo, la tasa antes mencionada no fue la mejor para N y P en tanto que la concentración de Na fue menor con vermicompost, lo que puede ser una ventaja para el uso de este producto sobre el compost tradicional. Mengel y Kirkby (1987) señalan que, el contenido de elementos en la planta varía con la edad de estas, generalmente los contenidos de N, P y K disminuyen con la edad de la planta. Esto puede explicar la deficiencia de N, al analizar muestras de follaje a la cosecha. En el Cuadro 54, se puede observar el porcentaje de contenido de los diferentes elementos mayores en las tres cosechas por tratamientos.

**Cuadro 54: Contenido foliar en porcentaje de los elementos mayores en las tres cosechas de (*Gypsophila paniculata*)**

Cosecha	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		%	%	%	%	%	%	%
Cose 1	TESTIGO	1,48	0,10	2,85	5,35	0,47	1,37	0,03
	COM 0,25	1,90	0,12	2,59	5,15	0,51	1,32	0,04
	COM 0,50	1,85	0,11	2,74	6,65	0,57	1,30	0,03
	COM 1,00	1,96	0,12	3,24	5,50	0,55	1,31	0,03
	COM 2,00	2,04	0,14	3,00	5,35	0,50	1,29	0,03
	VER 0,25	1,82	0,12	2,63	5,85	0,53	1,26	0,03
	VER 0,50	2,10	0,12	2,71	6,70	0,54	1,44	0,02
	VER 1,00	2,27	0,12	2,48	6,45	0,65	1,24	0,04
	VER 2,00	2,13	0,15	3,00	5,80	0,62	1,31	0,03
Cose 2	TESTIGO	2,55	0,11	1,19	8,65	0,52	0,44	0,04
	COM 0,25	2,18	0,11	1,20	8,70	0,55	0,40	0,04
	COM 0,50	2,27	0,10	1,01	8,70	0,57	0,46	0,05
	COM 1,00	2,18	0,12	1,23	7,55	0,53	0,49	0,04
	COM 2,00	2,46	0,14	1,58	7,10	0,58	0,42	0,04
	VER 0,25	0,81	0,13	1,31	7,85	0,51	0,50	0,04
	VER 0,50	0,45	0,12	1,26	7,70	0,51	0,42	0,04
	VER 1,00	1,90	0,11	1,14	7,65	0,55	0,47	0,04
	VER 2,00	2,44	0,13	1,12	7,15	0,55	0,40	0,04
Cose 3	TESTIGO	2,80	0,10	1,17	7,90	0,28	0,34	0,09
	COM 0,25	3,00	0,12	1,23	7,63	0,38	0,34	0,09
	COM 0,50	2,80	0,12	1,22	6,35	0,38	0,31	0,08
	COM 1,00	3,10	0,12	1,12	8,10	0,44	0,36	0,07
	COM 2,00	2,70	0,14	1,45	7,35	0,46	0,30	0,06
	VER 0,25	2,80	0,10	1,03	8,10	0,55	0,33	0,06
	VER 0,50	2,70	0,11	0,96	5,55	0,25	0,30	0,06
	VER 1,00	2,20	0,13	1,38	7,25	0,35	0,37	0,06
	VER 2,00	2,70	0,13	1,50	6,50	0,31	0,30	0,09

La incorporación de enmiendas orgánicas acondiciona el suelo y mejora la disponibilidad de los nutrientes, esto favorece al incremento del contenido foliar de elementos menores en la *Gypsophila*, en las tres cosechas tratamientos con compost y vermicompost presentan contenidos mayores de elementos como el Zn, Cu y Fe en relación al tratamiento testigo, con excepción del Fe en cosecha 2, por otra parte a Mn y B les corresponde contenidos más elevados en el tratamiento testigo, excepto en cosecha 3, donde los niveles mayores los tiene el compost. Con respecto a las dosis hay variaciones en las diferentes cosechas, en cosecha 1 para el Zn, Cu y Fe los contenidos más altos le corresponde a la dosis 2,00, para Mn es la dosis 0,50 y para el B es mayor el testigo, en la cosecha 2 el contenido de Zn y Cu es mayor con dosis 0,25, para Mn y Fe es el testigo y para el B es la dosis 0,50, en tanto que en cosecha 3 los contenidos mayores de Zn y Mn le corresponden a la dosis 0,25, para Cu y B a la dosis 0,50 y para el Fe a la dosis 1,00 (Cuadro 55).



**Cuadro 55: Promedios de contenido foliar en ppm de elementos menores por enmiendas y por dosis en las tres cosechas de (*Gypsophila paniculata*)**

Cosecha	Tratamiento	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm
Enmiendas						
Cose 1	TESTIGO	29	9	78	331	204
	COM	33	11	72	417	197
	VER	37	12	69	460	173
Cose 2	TESTIGO	31	8	125	672	163
	COM	30	8	103	405	158
	VER	28	8	90	387	154
Cose 3	TESTIGO	59	11	125	696	223
	COM	66	12	139	767	225
	VER	61	11	124	584	213
Dosis						
Cose 1	0,25	36	12	71	477	199
	0,50	32	11	74	416	168
	1,00	31	11	68	384	192
	2,00	40	12	70	477	183
Cose 2	0,25	31	9	106	367	159
	0,50	30	9	108	484	168
	1,00	28	8	92	380	145
	2,00	26	8	81	353	153
Cose 3	0,25	66	12	142	702	238
	0,50	65	13	138	659	258
	1,00	65	12	130	708	202
	2,00	60	11	117	633	177

Con respecto a estos datos, Hernández *et al.* (2010) señalan que, el contenido foliar de Fe, Zn y Cu en plantas de lechuga, aumentó con la incorporación de vermicompost a una tasa de 18.5 t ha<sup>-1</sup>.

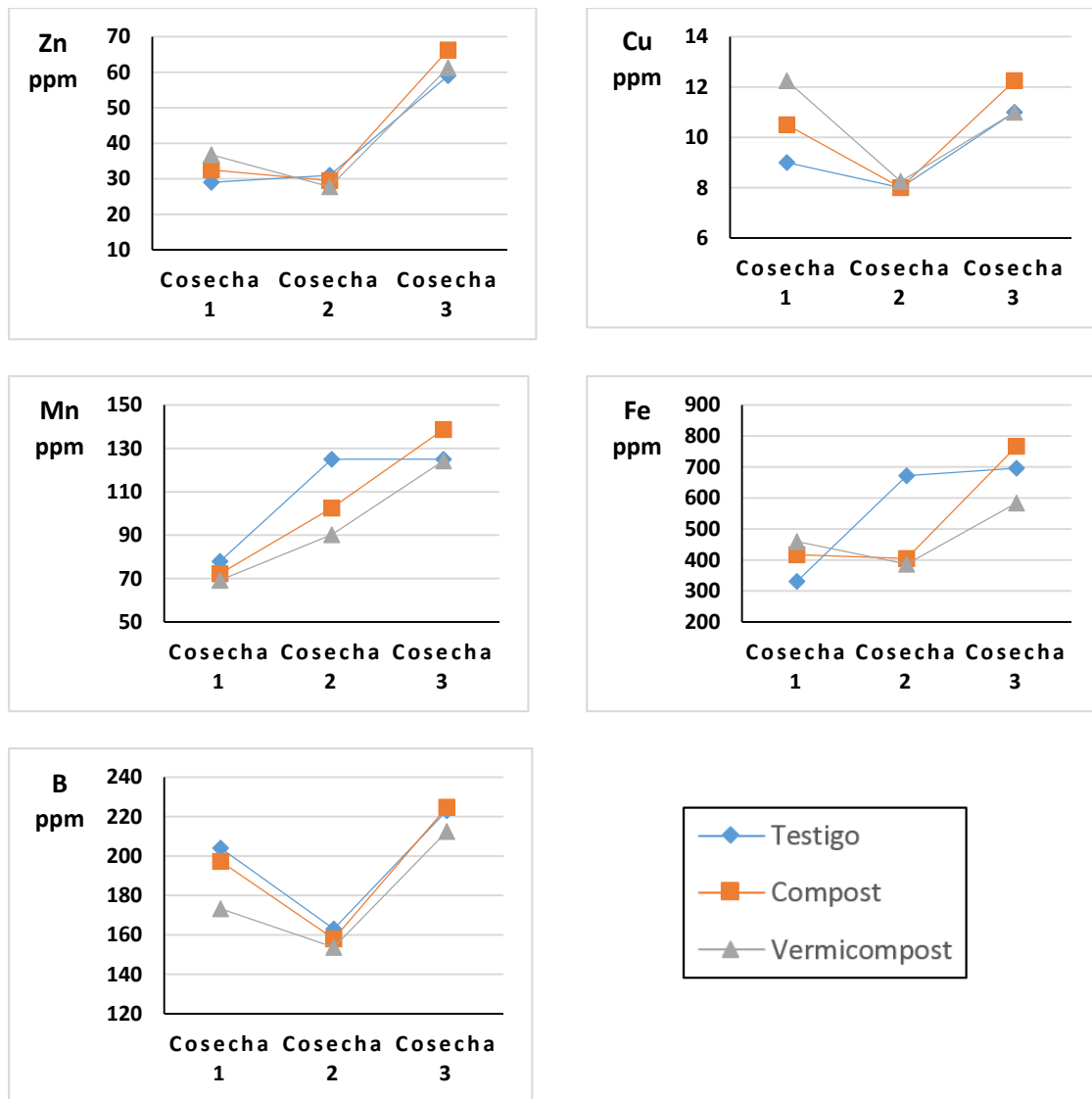
En la Figura 47, se observa la variación en el contenido de elementos menores en las hojas de *Gypsophila* en las tres cosechas. El contenido foliar en ppm de Zn es similar en cosecha 1 y cosecha 2, presentando un aumento significativo en cosecha 3, a los tratamientos con vermicompost le corresponde el contenido mayor en cosecha 1, al testigo en la cosecha 2, en tanto que en cosecha 3 le corresponde al compost, los niveles están dentro del rango normal 26 a 81%.

El contenido foliar en ppm de Cu tiene un comportamiento diferente al Zn, en la cosecha 2 hay una disminución con relación a la cosecha 1, en tanto que para cosecha 3 el contenido es mayor al de cosecha 2, a vermicompost le corresponde el contenido mayor en cosecha 1, para cosecha 2 el contenido es similar y en cosecha 3 el mayor contenido es para compost, los contenidos de cosecha 1 y cosecha 3 están dentro del rango normal 8,6 a 21%, en tanto que el contenido de la cosecha 2 es deficiente.

El contenido en ppm de Mn va en aumentos con el pasar de las cosechas, en cosecha 1 y cosecha 2 al tratamiento testigo le corresponde el contenido más alto, en la cosecha 3 le corresponde a los tratamientos con compost, el contenido foliar de las tres cosechas está dentro del rango normal de 57 a 182 ppm.

Para el Fe, el contenido foliar en ppm presenta un comportamiento diferente del tratamiento testigo con relación a los tratamientos con enmiendas orgánicas, en cosecha 1 el contenido más elevado es para vermicompost, en cosecha 2 es para el testigo y en la cosecha 3 es para el compost, para las tres cosechas el contenido de Fe está en exceso > 200 ppm.

El contenido foliar de B en ppm presenta un comportamiento similar al Cu, en la cosecha 2 hay una disminución con relación a la cosecha 1, en tanto que para cosecha 3 el contenido es mayor al de cosecha 2, el testigo tiene los contenidos más altos en cosechas 1 y 2 en tanto que en la cosecha 3 lo tiene el compost, en las tres cosechas el contenido de B está en exceso > 112 ppm.



**Figura 47: Variaciones por cosecha del contenido foliar en partes por millón de Zn, Cu, Mn, Fe y B en *Gyposphila***

Como ya se mencionó anteriormente, el contenido de elementos en la planta varía con la edad de estas, por lo general el contenido de Mn, Fe y B a menudo aumenta con la edad de la planta (Mengel y Kirkby, 1987).

Se observa que la mejora en las condiciones físicas y químicas por efecto de la incorporación de enmiendas orgánicas, permiten un incremento en la absorción de nutrientes mayores y menores. Los datos del contenido foliar de los elementos menores en ppm en las tres cosechas por tratamientos se presentan en el Cuadro 56.

**Cuadro 56: Contenido foliar en ppm de los elementos menores en las tres cosechas de (*Gypsophila paniculata*)**

Cosecha	Tratamiento	Zn	Cu	Mn	Fe	B
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Cose 1	TESTIGO	29	9	78	331	204
	COM 0,25	37	11	73	508	228
	COM 0,50	30	10	76	388	187
	COM 1,00	28	10	68	319	192
	COM 2,00	35	11	72	453	182
	VER 0,25	34	12	69	446	170
	VER 0,50	34	12	72	444	148
	VER 1,00	34	12	68	448	192
	VER 2,00	45	13	68	500	183
Cose 2	TESTIGO	31	8	125	672	163
	COM 0,25	31	8	119	417	168
	COM 0,50	31	8	114	419	176
	COM 1,00	29	8	96	384	144
	COM 2,00	27	8	81	400	144
	VER 0,25	31	9	92	316	149
	VER 0,50	28	10	101	549	159
	VER 1,00	27	7	87	376	146
	VER 2,00	25	7	81	305	161
Cose 3	TESTIGO	59	11	125	696	223
	COM 0,25	68	12	151	793	241
	COM 0,50	70	14	147	733	249
	COM 1,00	66	12	139	839	240
	COM 2,00	61	11	118	702	169
	VER 0,25	64	11	132	611	235
	VER 0,50	60	11	129	585	266
	VER 1,00	63	11	121	577	164
	VER 2,00	58	11	115	563	185

Como ya se señaló en párrafos anteriores, las enmiendas acondicionan al suelo para que la planta pueda absorber mayor cantidad de nutrientes, la presencia de microorganismos y encimas en el compost y vermicompost permiten entregar mejores condiciones para una mayor disponibilidad de nutrientes que la planta puede extraer (Jaurixje *et al.* 2013; Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016). Materiales humificador como el vermicompost con baja relación C/N muestran patrones de liberación altos que se relacionaron igualmente con concentraciones foliares altas de nutrimentos, en particular de N (Castro *et al.*, 2009). Con la presencia de los ácidos húmicos y fúlvicos, se presentan una variedad de grupos

funcionales que forman complejos solubles con los elementos del suelo (Tang *et al.*, 2014). El contenido foliar de plantas de tomate mostró niveles mayores de N, Ca, Cu y Fe en el tratamiento con compost frente al testigo, en tanto que los contenidos de P y K fueron similares y el contenido de Zn y Mg son mayores en el testigo (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016). La aplicación de vermicompost y compost a una tasa de 18.5 t ha<sup>-1</sup> comparado con aplicación de urea, fue suficiente para obtener concentraciones óptimas de nutrientes foliares de K, Ca, Mg y Mn en plantas de lechuga, pero no fue la mejor para macronutrientes como N y P (Hernández *et al.*, 2010).

## 1.12 EXPERIMENTO 2 “RESPUESTA DEL SUELO A DOSIS CRECIENTES DE FÓSFORO Y POTASIO EN CULTIVO DE MAÍZ”

A continuación se muestran los resultados del efecto de la aplicación de dosis crecientes de P y K en el suelo y la respuesta en el cultivo de maíz. En el Anexo 6, se encuentran todos los resultados obtenidos.

### 1.12.1 Altura de plantas a los 45 días de la siembra

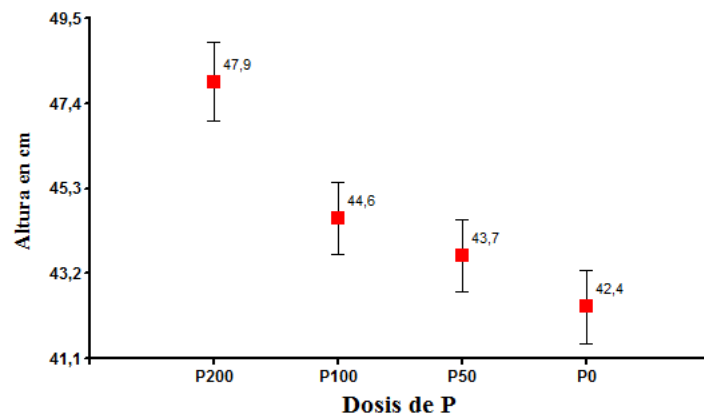
De la prueba de hipótesis marginal se observa que, el K no tiene diferencias estadísticas significativas (p-value = 0.5048), para el P hay diferencias estadísticas significativas (p-value = 0.0028) por lo que se analiza por separado (Cuadro 57).

**Cuadro 57: Resultados de Efecto de P en Altura de plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

<b>P</b>	<b>Medias</b>	<b>Error Estándar</b>	
P200	47,9	0,97	A
P100	44,6	0,89	B
P50	43,7	0,89	B
P0	42,4	0,89	B

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

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde la mayor altura de plantas con una media de 47,93 cm en tanto que los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde las media menor con una altura de 42,4 cm (Figura 46).



**Figura 48: Efecto del P en altura de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra**

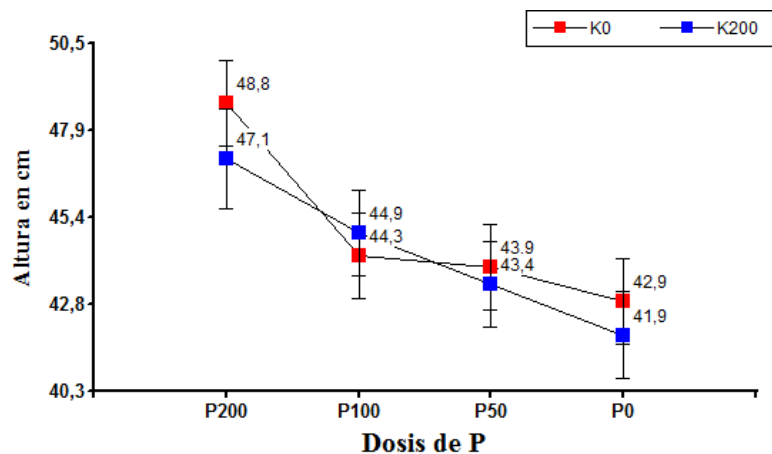
Se observa que, no se presenta una interacción positivas entre el P y el K (p-value = 0.8390), el coeficiente de variación (CV) es de 5,68% (Cuadro 58).

**Cuadro 58: Resultados de Interacción del P y el K en altura de plantas en cm a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar			
P200	K0	48,8	1,27	A		
P200	K200	47,1	1,46	A	B	
P100	K200	44,9	1,27		B	C
P100	K0	44,3	1,27		B	C
P50	K0	43,9	1,27		B	C
P50	K200	43,4	1,27		B	C
P0	K0	42,9	1,27			C
P0	K200	41,9	1,27			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )  
CV = 5,68%

Se puede ver que, la mayor altura de plantas le corresponde al tratamiento P200 K0 con 48,8 cm en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K200 con una altura de 41,9 g (Figura 49).



**Figura 49: Interacción del P y el K en altura de plantas de maíz a los 45 días de la siembra**

La aplicación de P al suelo tiene una respuesta positiva en altura de plantas en el cultivo de maíz, en tanto que no es significativa para la aplicación de K. Serna *et al.* (2011) señalan que se presentan diferencias significativas en la variable altura de plantas de maíz, obteniendo un incremento en un 2,1% con la dosis mayor de P, en tanto que no hay diferencias significativas para la aplicación de K, lo cual indica que hubo una ligera respuesta del cultivo a la dosis creciente de P.

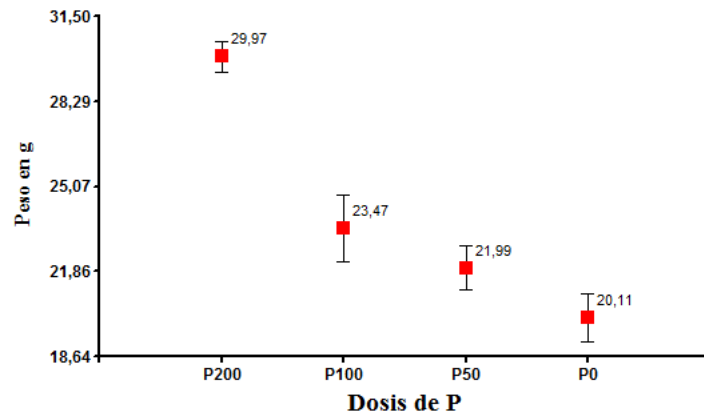
### 1.12.2 Peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra

De la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.27$ ), para el P existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0001$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 59). Los resultados permiten ver que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso fresco de plantas con una media de 29,97 g, en tanto que los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde la media menor con un peso de 20,11 g (Figura 50).

**Cuadro 59: Resultados de Efecto de P en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	29,97	0,59	A
P100	23,47	1,25	B
P50	21,99	0,82	B C
P0	20,11	0,9	C

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



**Figura 50: Efecto de P en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra**

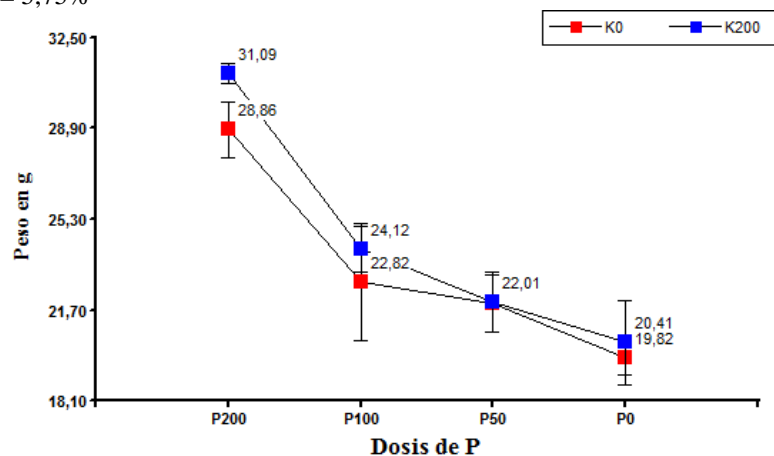
Se observa que no existe interacción positiva entre el P y el K (p-value = 0.7171), el coeficiente de variación (CV) es de 5,75% (Cuadro 60), se puede ver que, el peso mayor le corresponde al tratamiento P200 K200 con 31,09 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K0 con un peso de 19,82 g (Figura 51).

**Cuadro 60: Resultados de Interacción del P y el K en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar			
P200	K200	31,09	0,4	A		
P200	K0	28,86	1,11	A		
P100	K200	24,12	0,91		B	
P100	K0	22,82	2,34		B	C
P50	K200	22,01	1,17		B	C
P50	K0	21,97	1,15		B	C
P0	K200	20,41	1,67		B	C
P0	K0	19,82	0,68			C

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

CV = 5,75%



**Figura 51: Interacción del P y el K en peso fresco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra**



### 1.12.3 Peso seco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra

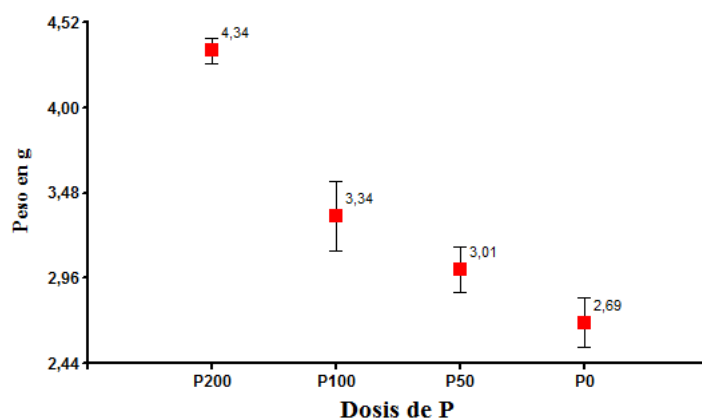
De la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas (p-value = 0.3958), en tanto que para el P se presentan diferencias estadísticas significativas (p-value = 0.0001) por lo que se analiza por separado (Cuadro 61).

**Cuadro 61: Resultados de Efecto de P en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	4,34	0,08	A
P100	3,34	0,21	B
P50	3,01	0,14	B C
P0	2,69	0,15	C

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

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso seco de plantas con una media de 4,34 g, en tanto que los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde las media menor con un peso de 2,69 g (Figura 52).



**Figura 52: Efecto de P en peso seco foliar en g plantas de maíz a los 45 días después de la siembra**

De los resultados obtenidos se observa que, no existe interacción positiva entre el P y el K (p-value = 0.5349), el coeficiente de variación (CV) es de 10,28% (Cuadro 62).

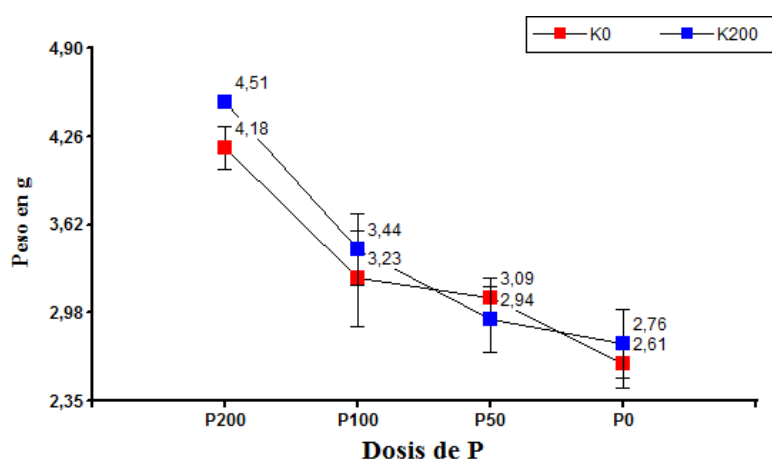
**Cuadro 62: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparadas con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar		
P200	K200	4,51	0,03	A	
P200	K0	4,18	0,16	A	
P100	K200	3,44	0,26		B
P100	K0	3,23	0,34		B C
P50	K0	3,09	0,14		B C
P50	K200	2,94	0,24		B C
P0	K200	2,76	0,25		B C
P0	K0	2,61	0,17		C

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

CV = 10,28%

Se puede ver que, el peso seco mayor le corresponde al tratamiento P200 K200 con 4,51 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K0 con un peso de 2,61 g (Figura 53), estos resultados guardan relación con el peso fresco foliar de las plantas.



**Figura 53: Interacción del P y el K en peso seco foliar de maíz en g a los 45 días de la siembra**

#### 1.12.4 Peso fresco de la raíz de maíz a los 45 días después de la siembra

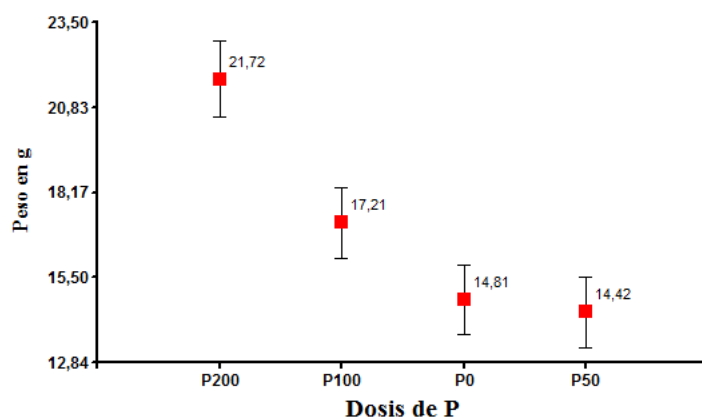
Revisada la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.5795$ ) en la variable peso fresco de raíz, en tanto que para el P hay diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0006$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 63).

**Cuadro 63: Resultados de Efecto de P en peso fresco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	21,72	1,19	A
P100	17,21	1,1	B
P0	14,81	1,1	B
P50	14,42	1,1	B

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

Los resultados obtenidos permiten observar que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso fresco de raíz con una media de 21,72 g, en tanto que los tratamiento de con dosis de (P50) les corresponde las media menor con un peso de 14,42 g (Figura 54).



**Figura 54: Efecto de P en peso fresco de la raíz en g plantas de maíz a los 45 días después de la siembra**

Los resultados obtenidos permiten ver que, no existe interacción positiva entre el P y el K ( $p\text{-value} = 0.2789$ ), el coeficiente de variación (CV) es de 18,42% (Cuadro 64).

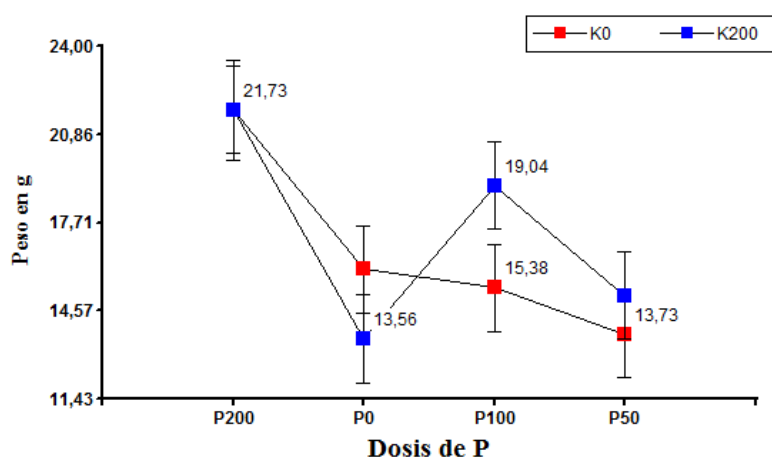
**Cuadro 64: Resultados de Interacción del P y el K en peso de la raíz de maíz en g a los 45 días después de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar			
P200	K0	21,73	1,56	A		
P200	K200	21,71	1,8	A		
P100	K200	19,04	1,56	A	B	
P0	K0	16,05	1,56		B	C
P100	K0	15,38	1,56		B	C
P50	K200	15,11	1,56		B	C
P50	K0	13,73	1,56			C
P0	K200	13,56	1,56			C

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

CV = 18,42%

Se observa que, el mayor peso fresco de raíz le corresponde al tratamiento P200 K0 con 21,73 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K200 con un peso de 13,56 g (Figura 55).



**Figura 55: Interacción del P y el K en peso fresco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra**

### 1.12.5 Peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días después de la siembra

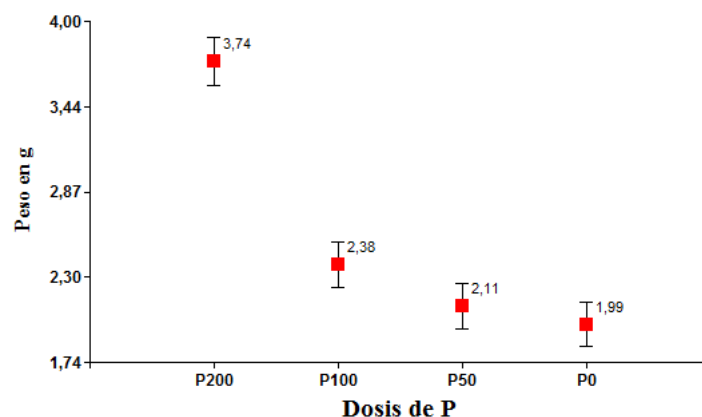
De la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0649$ ), en tanto que para el P se presentan diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0001$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 65).

**Cuadro 65: Resultados de Efecto de P en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	3,74	0,16	A
P100	2,39	0,15	B
P50	2,11	0,15	B
P0	1,99	0,15	B

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

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso seco de raíz con una media de 3,74 g, en tanto que los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde las media menor con un peso de 1,99 g (Figura 56).



**Figura 56: Efecto de P en peso seco de raíz de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra**

De los resultados obtenidos se observa que, existe interacción positiva entre el P y el K ( $p\text{-value} = 0.0426$ ), el coeficiente de variación (CV) es de 17,20% (Cuadro 66).

**Cuadro 66: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar	
P200	K200	4,31	0,25	A
P200	K0	3,17	0,21	B
P100	K200	2,46	0,21	C
P100	K0	2,31	0,21	C
P50	K0	2,14	0,21	C
P50	K200	2,09	0,21	C
P0	K0	2,01	0,21	C
P0	K200	1,97	0,21	C

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

CV = 17,20%

Se puede ver que, el mayor peso seco de raíz le corresponde al tratamiento P200 K200 con 4,31 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K200 con un peso de 1,97 g (Figura 57).

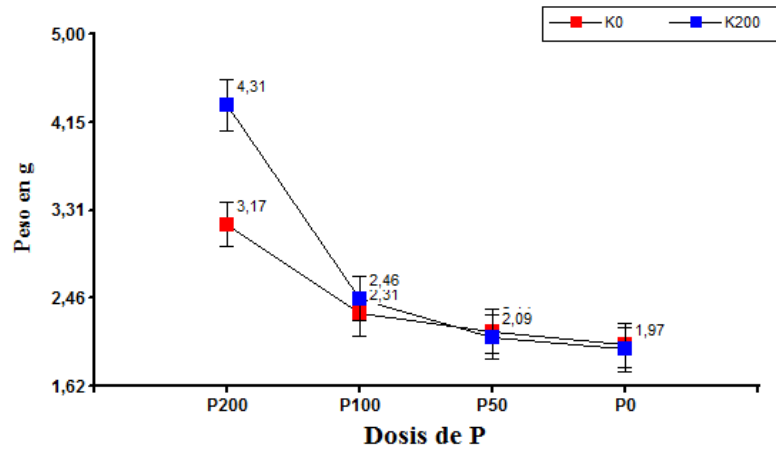


Figura 57: Interacción del P y el K en peso seco de la raíz de maíz en g a los 45 días de la siembra

### 1.12.6 Peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra

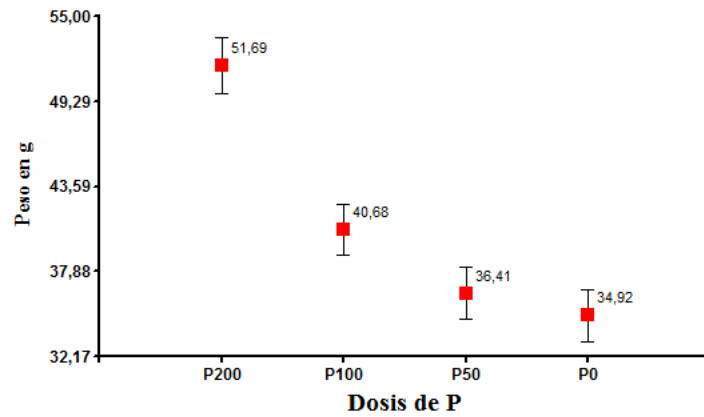
Revisada la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.3521$ ), en tanto que para el P se presentan diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0001$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 67).

Cuadro 67: Resultados de Efecto de P en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

P	Medias	Error Estándar	
P200	51,69	1,87	A
P100	40,68	1,73	B
P50	36,41	1,73	B C
P0	34,92	1,73	C

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

Los resultados obtenidos permiten observar que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso fresco de plantas con una media de 51,69 g, mientras que los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde las media menor con un peso de 34,92 g (Figura 58).



**Figura 58:** Efecto de P en peso fresco en g de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra

Los resultados obtenidos permiten ver que, no existe interacción positiva entre el P y el K ( $p$ -value = 0,5805), el coeficiente de variación (CV) es de 12,07% (Cuadro 68).

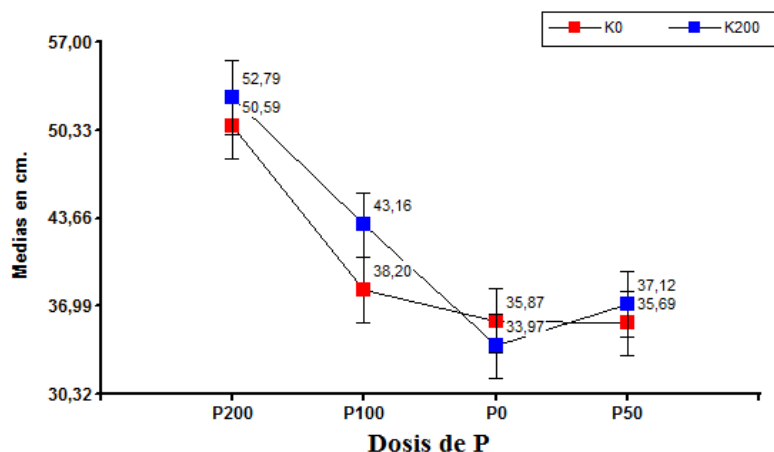
**Cuadro 68:** Resultados de Interacción del P y el K en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

P	K	Medias	Error Estándar		
P200	K200	52,79	2,82	A	
P200	K0	50,59	2,44	A	
P100	K200	43,16	2,44		B
P100	K0	38,20	2,44		B C
P50	K200	37,12	2,44		B C
P0	K0	35,87	2,44		C
P50	K0	35,69	2,44		C
P0	K200	33,97	2,44		C

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

CV = 12,07%

Se observa que, el mayor peso fresco de plantas le corresponde al tratamiento P200 K200 con 52,79 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K200 con un peso de 33,97 g (Figura 59).



**Figura 59: Interacción del P y el K en peso fresco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra**

### 1.12.7 Peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días después de la siembra

De la prueba de hipótesis marginal para peso seco de plantas se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.1222$ ), en tanto que para el P se presentan diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0001$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 69).

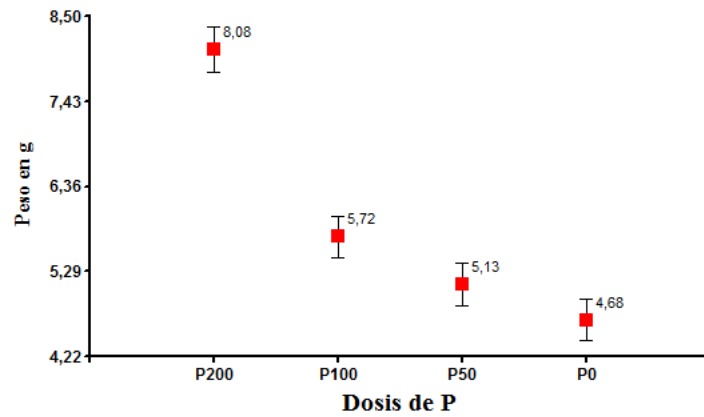
**Cuadro 69: Resultados de Efecto de P en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	8,08	0,28	A
P100	5,72	0,26	B
P50	5,13	0,26	B C
P0	4,68	0,26	C

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

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde el mayor peso seco de plantas con una media de 8,08 g, mientras que a los tratamiento de con dosis de (P0) les corresponde las media menor con un peso de 4,68 g (Figura 60).





**Figura 60: Efecto de P en peso seco en g de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra**

De los resultados obtenidos se observa que, no existe interacción positiva entre el P y el K (p-value = 0.1901), el coeficiente de variación (CV) es de 12,92% (Cuadro 70).

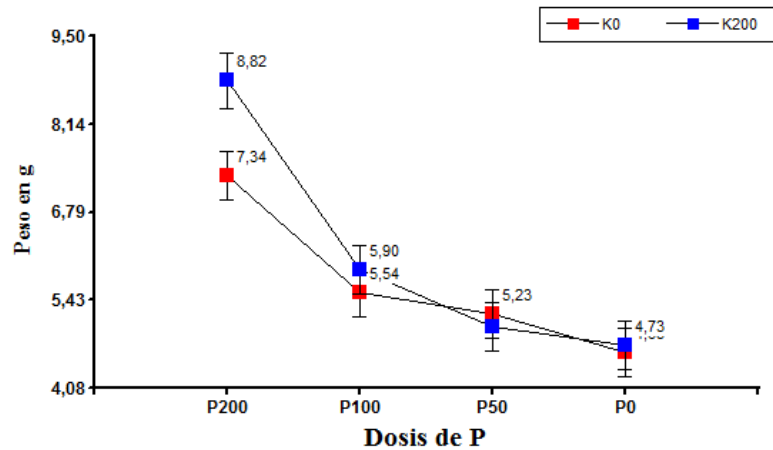
**Cuadro 70: Resultados de Interacción del P y el K en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar			
P200	K200	8,82	0,43	A		
P200	K0	7,35	0,37		B	
P100	K200	5,90	0,37		C	
P100	K0	5,55	0,37		C	D
P50	K0	5,23	0,37		C	D
P50	K200	5,03	0,37		C	D
P0	K200	4,73	0,37			D
P0	K0	4,63	0,37			D

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

CV = 12,92%

Se puede ver que, el peso seco mayor le corresponde al tratamiento P200 K200 con 8,82 g, en tanto que el valor menor le corresponde al tratamiento P0 K0 con un peso de 4,63 g (Figura 61).



**Figura 61: Interacción del P y el K en peso seco de plantas de maíz en g a los 45 días de la siembra**

### 1.12.8 Contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra en base a peso fresco en porcentaje

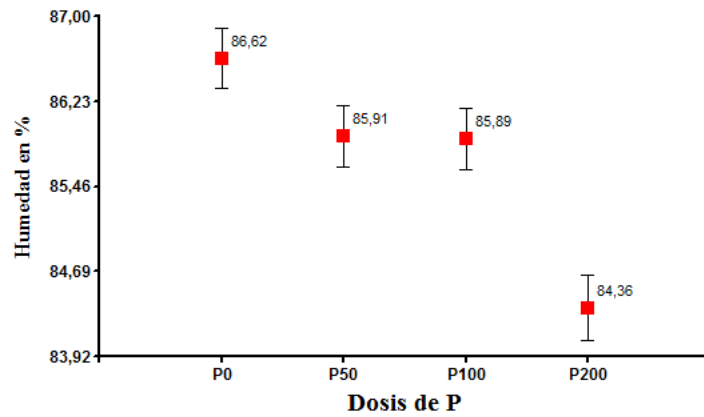
Revisada la prueba de hipótesis marginal se observa que, para el K no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.3163$ ), en tanto que para el P se presentan diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0001$ ) por lo que se analiza por separado (Cuadro 71).

**Cuadro 71: Resultados de Efecto de P en contenido de humedad en plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P0	86,6	0,27	A
P50	85,9	0,27	A
P100	85,9	0,27	A
P200	84,4	0,3	B

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

Los resultados obtenidos permiten observar que, a los tratamiento con dosis de (P0) les corresponde el mayor contenido de humedad con el 86,6%, mientras que los tratamiento con dosis de (P200) les corresponde la media menor con un contenido de humedad de 84,4% (Figura 62).



**Figura 62: Efecto de P en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días después de la siembra en porcentaje**

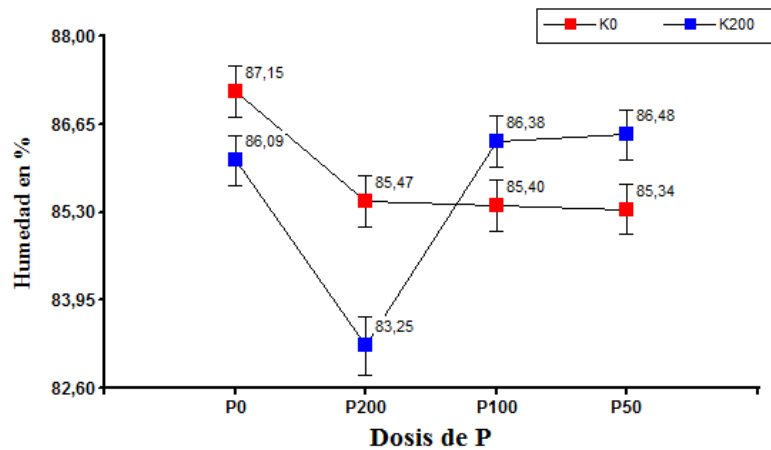
Los resultados obtenidos permiten ver que, existe interacción positiva entre el P y el K (p-value = 0,0007), el coeficiente de variación (CV) es de 0,9% (Cuadro 72). Se observa que, el tratamiento P0 K0 con 87,2% de contenido de humedad le corresponde la media mayor, mientras que el tratamiento P200 K200 con el 83,3% de contenido de humedad le corresponde la media menor (Figura 63).

**Cuadro 72: Resultados de Interacción del P y el K en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	K	Medias	Error Estándar			
P0	K0	87,2	0,39	A		
P50	K200	86,5	0,39	A	B	
P100	K200	86,4	0,39	A	B	C
P0	K200	86,1	0,39	A	B	C
P200	K0	85,5	0,39		B	C
P100	K0	85,4	0,39		B	C
P50	K0	85,3	0,39			C
P200	K200	83,3	0,45			D

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

CV = 0,9%



**Figura 63: Interacción del P y el K en contenido de humedad de plantas de maíz a los 45 días de la siembra en porcentaje**

Los datos presentados indican que el suelo en estudio responde favorablemente a la aplicación de P, con la dosis de P 200 el cultivo indicador maíz, obtuvo mejores resultados agronómicos, plantas con mayor altura, valores superiores de peso fresco y peso seco de plantas, en tanto que la aplicación de K al suelo no tuvo resultados significativos en las plantas de maíz. Esto resultados coincide con lo manifestado por: Mantilla (2014) hay un incremento de la materia seca con mayores niveles de P aplicados en el maíz. Delgado *et al.* (2004) señala que, hay una relación significativa entre incremento de materia seca y el P absorbido en un período determinado, y que no se observaron relaciones significativas entre incrementos de N y K con incrementos de materia seca en diferentes períodos del crecimiento. Hirzel *et al.* (2004) indica que, se observó una respuesta en producción de materia seca frente a dosis crecientes de  $P_2O_5$ . Fernández (2007) la disponibilidad y efectividad del fósforo en la nutrición vegetal inciden en gran medida en las interacciones de este nutriente con otros elementos del suelo como N y Ca, también se produce la precipitación de los iones fosfatos y férricos, dando lugar a fosfatos de hierro, de insolubilidad muy elevada, de todos los nutrientes que interactúan con el zinc, el fósforo es, sin dudas, el más importante, ya que la deficiencia de zinc en los vegetales, puede ser provocada por la aplicación de fertilizantes fosforados. Orozco *et al.* (2016) el exceso de fósforo puede interferir con la absorción de micronutrientes, como el zinc y hierro, el exceso de potasio en forma de potasa aumenta el pH del suelo, lo que causa una mala absorción de nutrientes. Borges (2005) los principales factores que afectan la distribución de K entre la fase sólida y líquida del suelo, se encuentran el contenido y tipo de arcilla. Díaz *et al.* (2011) manifiestan que, valores más elevados de materia seca en plantas de maíz, se alcanzaron en todos los niveles de P ensayados, cuando no se

suministró este elemento la producción de materia seca fue de 139,6 g planta<sup>-1</sup>, sin embargo, cuando fueron adicionados 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la producción de materia seca fue de 212,2 g planta<sup>-1</sup> existiendo un incremento de 34,2% con relación al testigo.

### 1.13 EXPERIMENTO 3 “RESPUESTA DEL SUELO A FUENTES Y DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y DOSIS DE FÓSFORO EN CULTIVO DE GYPSOPHILA”

A continuación se muestran los resultados de la respuesta del cultivo (*Gypsophila paniculata*) a la aplicación al suelo de dosis crecientes de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost combinadas con dosis de P, en el Anexo 7 se encuentran todos los resultados obtenidos.

#### 1.13.1 Número de días a la cosecha de Gypsophila

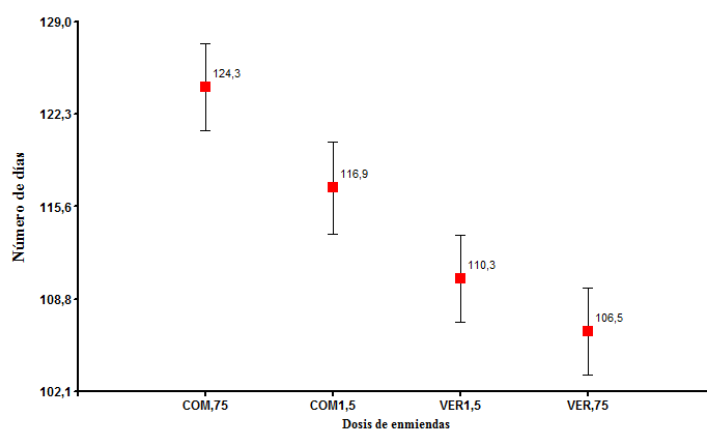
Realizada la prueba de hipótesis marginal para número de días a la cosecha se observa que, para enmiendas orgánicas existen diferencias estadísticas significativas (p-value = 0.0021) (Cuadro 73).

**Cuadro 73: Resultados de Efecto de enmiendas en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	Medias	Error Estándar		
COM0,75	124,3	3,2	A	
COM1,5	116,9	3,4	A	B
VER1,5	110,3	3,2		B C
VER0,75	106,5	3,2		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El mayor número de días a la cosecha le corresponde a los tratamientos con COM 0,75 con 124,3 días, en tanto que el menor número de días es para los tratamientos con VER 0,75 con 106,5 días (Figura 64)



**Figura 64: Efecto de enmiendas en el número de días a la cosecha de Gypsophila**

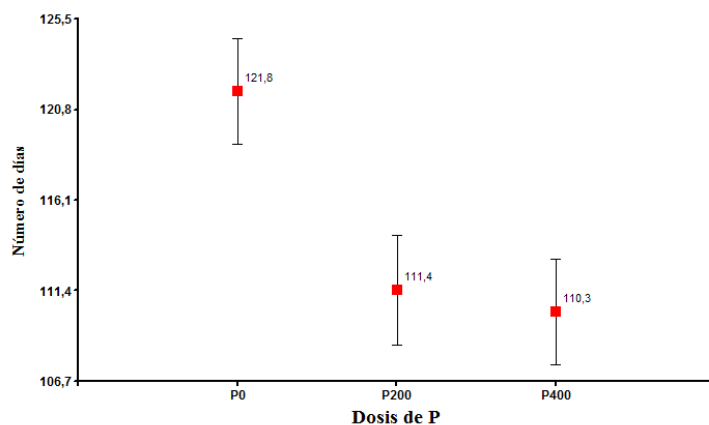
Para el P existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0096$ ) (Cuadro 74).

**Cuadro 74: Resultados de Efecto del P en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

<b>P</b>	<b>Medias</b>	<b>Error Estándar</b>	
P0	121,8	2,8	A
P200	111,4	2,9	B
P400	110,3	2,8	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los resultados obtenidos permiten observar que, a los tratamientos con P0 le corresponde mayor valor con 121,8 días, siendo el menor valor para los tratamientos con P400 con 110,3 días (Figura 63).



**Figura 65: Efecto del P en el número de días a la cosecha de Gypsophila**

De los resultados se observa que, no existe interacción positiva entre las enmiendas y el P ( $p\text{-value} = 0,1157$ ), el coeficiente de variación (CV) es de 9,62% (Cuadro 75).

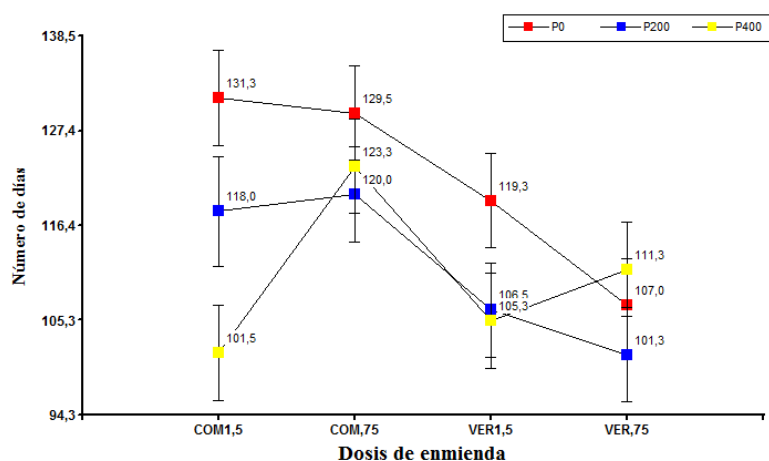
**Cuadro 75: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en el número de días a la cosecha de Gypsophila, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar.				
COM1,5	P0	131,3	5,5	A			
COM0,75	P0	129,5	5,5	A			
COM0,75	P400	123,3	5,5	A	B		
COM0,75	P200	120,0	5,5	A	B	C	
VER1,5	P0	119,3	5,5	A	B	C	
COM1,5	P200	118,0	6,4	A	B	C	D
VER0,75	P400	111,3	5,5	B		C	D
VER0,75	P0	107,0	5,5			C	D
VER1,5	P200	106,5	5,5			C	D
VER1,5	P400	105,3	5,5			C	D
COM1,5	P400	101,5	5,5				D
VER0,75	P200	101,3	5,5				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 9,62%

Se puede ver que, el tratamiento (COM1,5 P0) tiene el mayor valor con 131,3 días a la cosecha, siendo el menor valor para el tratamiento (VER0,75 P200) con 101,3 días a la cosecha (Figura 66).



**Figura 66: Interacción de enmiendas y el P en el número de días a la cosecha de Gypsophila**

Hay una influencia positiva del vermicompost combinado con P en reducir el número de días a la cosecha.

### 1.13.2 Altura de tallos de Gypsophila a la cosecha en cm

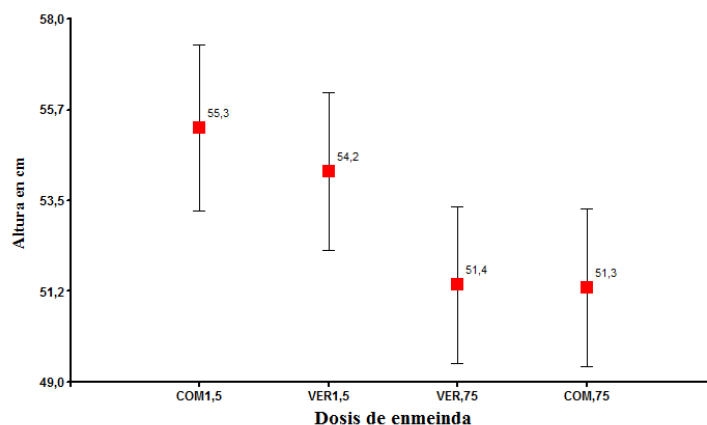
Revisada la prueba de hipótesis marginal se observa que, para enmiendas no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0,3987$ ) (Cuadro 76).

**Cuadro 76: Resultados de Efecto de enmiendas en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	Medias	Error Estándar	
COM1,5	55,3	2,1	A
VER1,5	54,2	2,0	A
VER0,75	51,4	2,0	A
COM0,75	51,3	2,0	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

A los tratamientos con COM1,5 les corresponde la altura mayor con 55,3 cm en tanto que la menor altura les corresponde a los tratamientos con COM0,75 con de 51,3 cm (Figura 67).



**Figura 67: Efecto de enmiendas en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm**

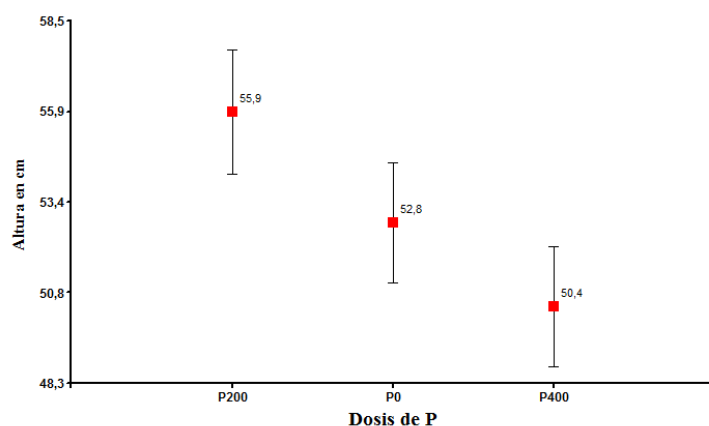
Para el P no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.0928$ ) (Cuadro 77). Los resultados obtenidos permiten observar que, a los tratamientos con P200 le corresponde mayor altura de tallo con 55,9 cm, siendo el menor valor para los tratamientos con P400 con 50,4 cm de altura (Figura 68).

**Cuadro 77: Resultados de Efecto de P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher (Alfa=0.05)**

P	Medias	Error Estándar		
P200	55,9	1,8	A	
P0	52,8	1,7	A	B
P400	50,4	1,7		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )





**Figura 68:** Efecto del P en altura de tallo *Gypsophila* a la cosecha en cm

De los resultados se observa que, no existe interacción positiva entre las enmiendas y el P (p-value = 0,8507), el coeficiente de variación (CV) es de 12,82% (Cuadro 78).

**Cuadro 78:** Resultados de Interacción de enmiendas y el P en altura de tallo *Gypsophila* a la cosecha en cm, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar		
COM1,5	P200	61,2	3,9	A	
VER1,5	P200	56,8	3,4	A	B
VER1,5	P0	55,1	3,4	A	B
VER0,75	P200	54,0	3,4	A	B
COM1,5	P400	52,9	3,4	A	B
COM0,75	P0	52,2	3,4	A	B
VER0,75	P0	52,0	3,4	A	B
COM1,5	P0	51,8	3,4	A	B
COM0,75	P200	51,7	3,4	A	B
VER1,5	P400	50,7	3,4		B
COM0,75	P400	50,0	3,4		B
VER0,75	P400	48,1	3,4		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 12,82%

Se puede ver que, al tratamiento (COM1,5 P200) le corresponde la mayor altura con 61,2 cm, siendo el menor valor para el tratamiento (VER0,75 P400) con una altura de 48,1 cm (Figura 69).

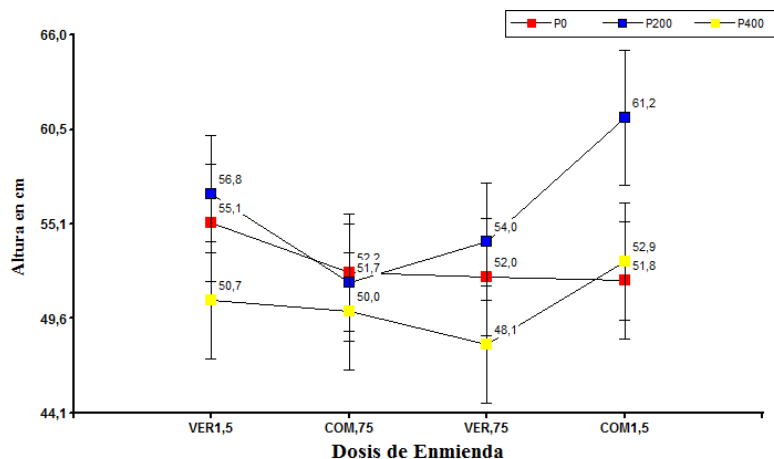


Figura 69: Interacción de enmiendas y el P en altura de tallo Gypsophila a la cosecha en cm

### 1.13.3 Número de laterales por tallo de Gypsophila a la cosecha

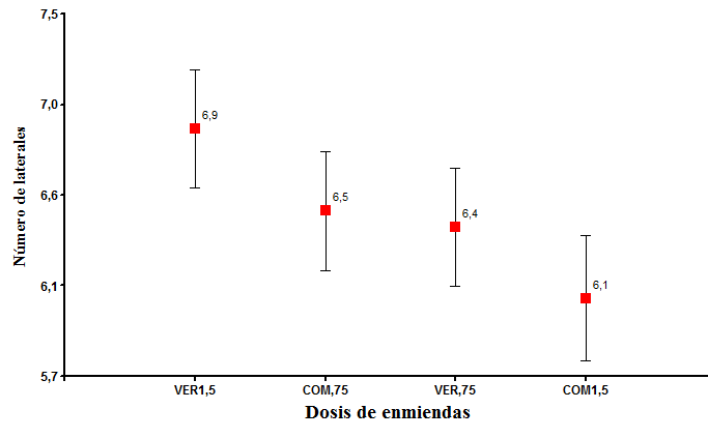
Realizada la prueba de hipótesis marginal para número de laterales por tallo se observa que, para enmiendas no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.2865$ ) (Cuadro 79).

Cuadro 79: Resultados de Efecto de enmiendas en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )

Enmiendas	Medias	Error Estándar	
VER1,5	6,9	0,3	A
COM0,75	6,5	0,3	A
VER0,75	6,4	0,3	A
COM1,5	6,1	0,3	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El mayor valor les corresponde a los tratamientos con VER1,5 con 6,9 laterales, en tanto que el valor menor le corresponde a los tratamientos con COM1,5 con 6,1 laterales por tallo (Figura 70)



**Figura 70: Efecto de enmiendas en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha**

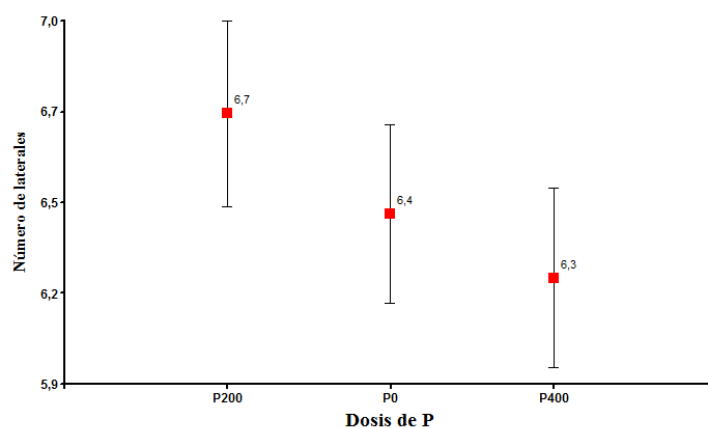
Para el P no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0,4499$ ) (Cuadro 80).

**Cuadro 80: Resultados de Efecto del P en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0,05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	6,7	0,3	A
P0	6,4	0,3	A
P400	6,3	0,3	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con (P200) les corresponde el mayor valor con una media de 6,7 laterales, mientras que a los tratamiento de con dosis de (P400) les corresponde las media menor con 6,3 laterales (Figura 71).



**Figura 71: Efecto del P en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha**

Con los resultados de hipótesis marginal se observa que, no existe interacción positiva entre las enmiendas y el P ( $p\text{-value} = 0,3933$ ), el coeficiente de variación (CV) es de 16,08% (Cuadro 81).

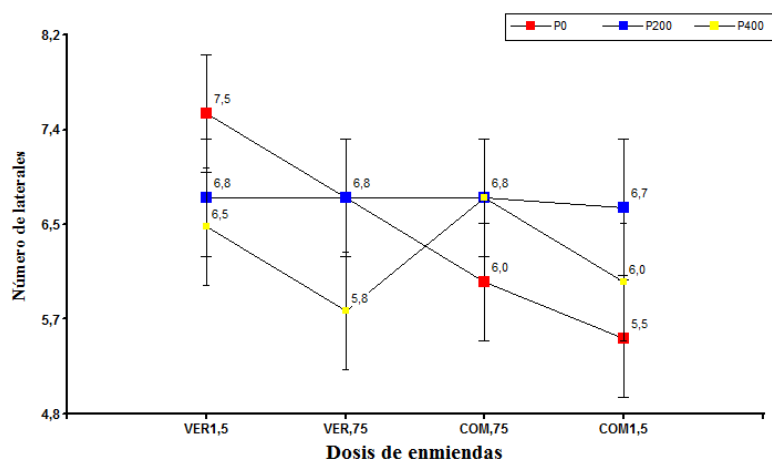
**Cuadro 81: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en el número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar		
VER1,5	P0	7,5	0,5	A	
VER1,5	P200	6,8	0,5	A	B
COM0,75	P200	6,8	0,5	A	B
VER0,75	P200	6,8	0,5	A	B
VER0,75	P0	6,8	0,5	A	B
COM0,75	P400	6,8	0,5	A	B
COM1,5	P200	6,7	0,6	A	B
VER1,5	P400	6,5	0,5	A	B
COM0,75	P0	6,0	0,5		B
COM1,5	P400	6,0	0,5		B
VER0,75	P400	5,8	0,5		B
COM1,5	P0	5,5	0,5		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 16,08%

Se puede ver que, al tratamiento (VER1,5 P0) le corresponde el número mayor con 7,5 laterales, siendo el menor valor para el tratamiento (COM1,5 P0) con 5,5 laterales por tallo (Figura 72).



**Figura 72: Interacción de enmiendas y el P en número de laterales por tallo Gypsophila a la cosecha**

#### 1.13.4 Peso fresco de tallo de Gypsophila a la cosecha en g

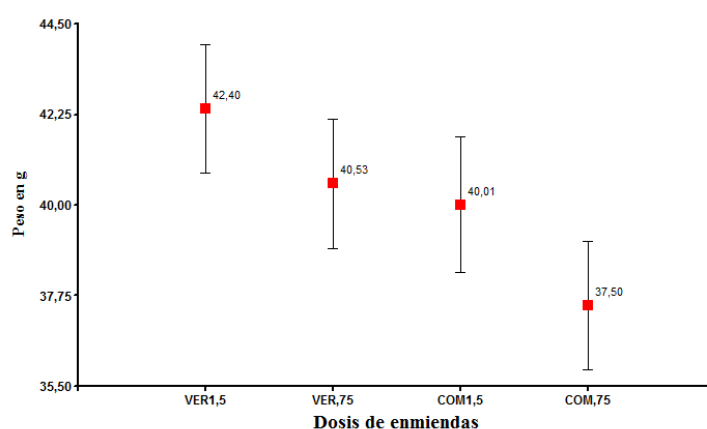
De la prueba de hipótesis marginal para peso fresco de tallo se observa que, para enmiendas no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.2085$ ) (Cuadro 82).

**Cuadro 82: Resultados de Efecto de enmiendas en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	Medias	Error Estándar	
VER1,5	42,4	1,6	A
VER0,75	40,5	1,6	A B
COM1,5	40,0	1,7	A B
COM0,75	37,5	1,6	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El peso fresco mayor le corresponde a los tratamientos con VER1,5 con 42,2 g, en tanto que el peso menor le corresponde a los tratamientos con COM0,75 con 37,5 g (Figura 73)



**Figura 73: Efecto de enmiendas en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g**

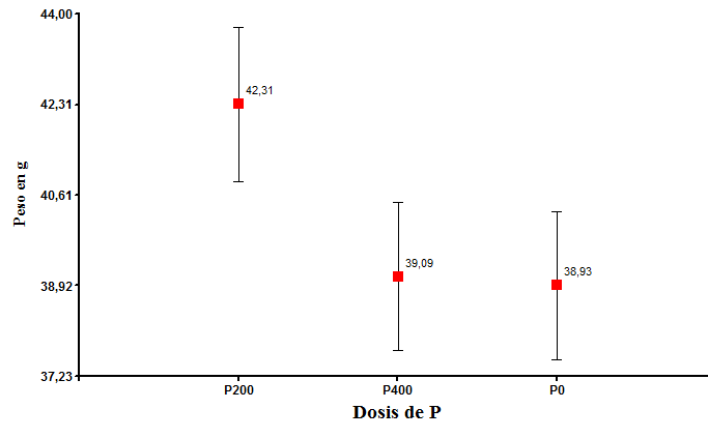
Para el P no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.1797$ ) (Cuadro 83).

**Cuadro 83: Resultados de Efecto del P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	42,3	1,4	A
P400	39,1	1,4	A
P0	38,9	1,4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamientos con (P200) les corresponde el mayor peso fresco de tallo con una media de 42,3 g, mientras que a los tratamientos con dosis de (P0) les corresponde la media menor con un peso de 38,9 g (Figura 74).



**Figura 74: Efecto del P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g**

De los resultados obtenidos se observa que, no existe interacción positiva entre enmiendas y el P (p-value = 0.0826), el coeficiente de variación (CV) es de 13,86% (Cuadro 84).

**Cuadro 84: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en peso fresco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar				
COM1,5	P200	46,8	3,2	A			
VER1,5	P200	44,0	2,8	A	B		
VER1,5	P0	43,0	2,8	A	B		
COM0,75	P400	41,8	2,8	A	B	C	
VER0,75	P0	41,7	2,8	A	B	C	
VER0,75	P200	40,3	2,8	A	B	C	D
VER1,5	P400	40,2	2,8	A	B	C	D
VER0,75	P400	39,6	2,8	A	B	C	D
COM1,5	P0	38,5	2,8	A	B	C	D
COM0,75	P200	38,2	2,8		B	C	D
COM1,5	P400	34,8	2,8			C	D
COM0,75	P0	32,5	2,8				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 13,86%

Se puede ver que, el mayor peso fresco de tallo le corresponde al tratamiento (COM1,5 P200) con 46,8 g, quedando relegado en último lugar el tratamiento (COM0,75 P0) con un peso de 32,5 g (Figura 75).

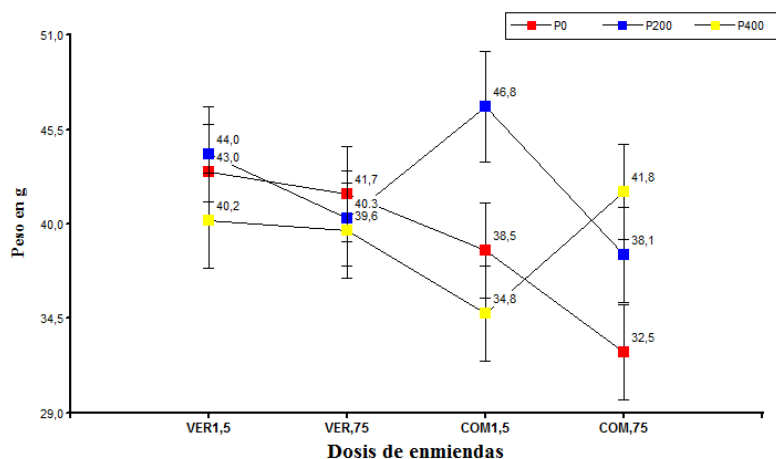


Figura 75: Interacción de enmiendas con el P en peso fresco de tallo *Gypsophila* a la cosecha en g

### 1.13.5 Peso seco de tallo de *Gypsophila* a la cosecha en g

Luego de realizada la prueba de hipótesis marginal para peso seco de tallo se observa que, para enmiendas no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0,3196$ ) (Cuadro 85).

Cuadro 85: Resultados de Efecto de enmiendas en peso seco de tallo *Gypsophila* a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0,05$ )

Enmiendas	Medias	Error Estándar	
VER1,5	9,3	0,4	A
COM1,5	8,9	0,5	A
VER0,75	8,8	0,4	A
COM0,75	8,2	0,4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El peso mayor le corresponde a los tratamientos con VER1,5 con 9,3 g, en tanto que el peso menor le corresponde a los tratamientos con COM0,75 con 8,2 g (Figura 76)

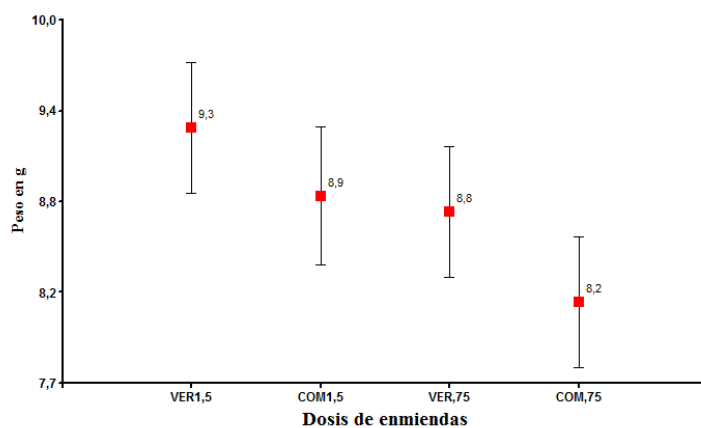


Figura 76: Efecto de enmiendas en peso seco de tallo *Gypsophila* a la cosecha en g

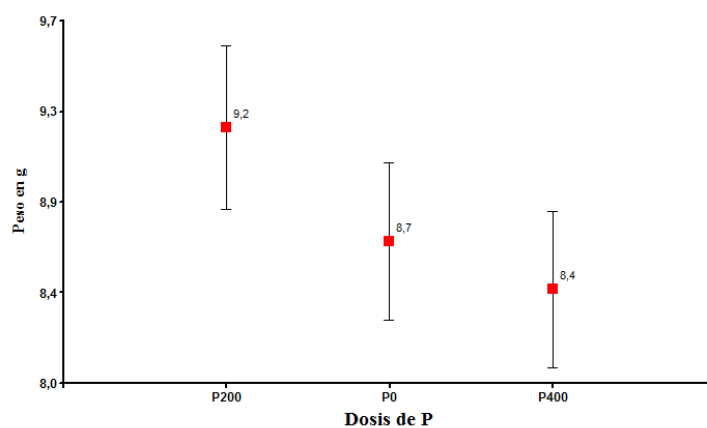
Para el P no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0.3576$ ) (Cuadro 86).

**Cuadro 86: Resultados de Efecto del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P200	9,2	0,4	A
P0	8,7	0,4	A
P400	8,5	0,4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De los resultados obtenidos se puede ver que, a los tratamiento con (P200) les corresponde el mayor peso seco de tallo con una media de 9,2 g, mientras que los tratamiento de con dosis de (P400) les corresponde la media menor con un peso de 8,5 g (Figura 77).



**Figura 77: Efecto del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g**

De los resultados obtenidos se observa que, no existe interacción positiva entre enmiendas y el P ( $p\text{-value} = 0.0826$ ), el coeficiente de variación (CV) es de 13,86% (Cuadro 87), se puede ver que, el mayor peso seco de tallo le corresponde al tratamiento (COM1,5 P200) con 10,3 g, quedando relegado en último lugar el tratamiento (COM0,75 P0) con un peso de 7,5 g (Figura 78).

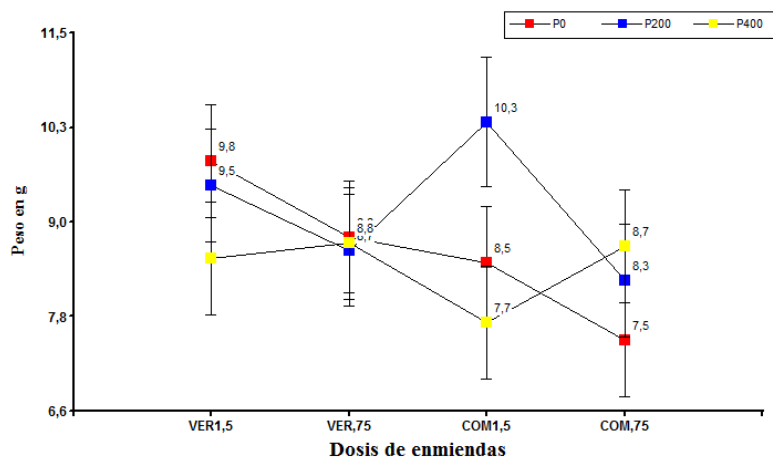


**Cuadro 87: Resultados de Interacción de enmiendas y del P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar			
COM1,5	P200	10,3	0,9	A		
VER1,5	P0	9,8	0,7	A	B	
VER1,5	P200	9,5	0,7	A	B	C
VER0,75	P0	8,9	0,7	A	B	C
VER0,75	P400	8,8	0,7	A	B	C
COM0,75	P400	8,7	0,7	A	B	C
VER0,75	P200	8,7	0,7	A	B	C
VER1,5	P400	8,6	0,7	A	B	C
COM1,5	P0	8,5	0,7	A	B	C
COM0,75	P200	8,3	0,7	A	B	C
COM1,5	P400	7,7	0,7		B	C
COM0,75	P0	7,5	0,7			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 16,82%



**Figura 78: Interacción de enmiendas y el P en peso seco de tallo Gypsophila a la cosecha en g**

### 1.13.6 Contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje

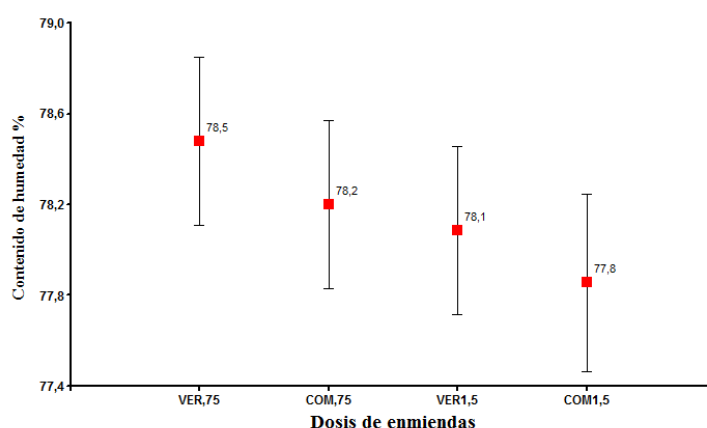
Realizada la prueba de hipótesis marginal para contenido de humedad en tallo se observa que, para enmiendas no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0,7073$ ) (Cuadro 88).

**Cuadro 88: Resultados de Efecto de enmiendas en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	Medias	Error Estándar	
VER0,75	78,5	0,4	A
COM0,75	78,2	0,4	A
VER1,5	78,1	0,4	A
COM1,5	77,8	0,4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El mayor contenido de humedad en tallo lo tienen los tratamientos con VER0,75 con 78,5%, en tanto que el menor contenido de humedad en tallo le corresponde a los tratamientos con COM1,5 con 77,8% (Figura 79)



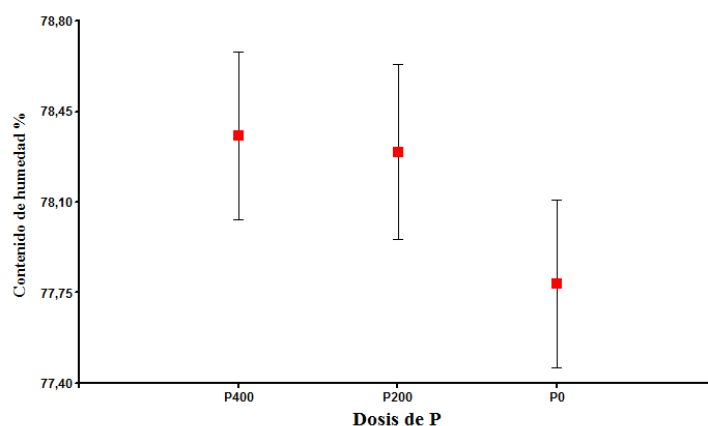
**Figura 79: Efecto de enmiendas en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje**

Para el P no existen diferencias estadísticas significativas ( $p\text{-value} = 0,4045$ ) (Cuadro 89). De los resultados obtenidos se puede ver que, los tratamiento con (P400) contienen el mayor porcentaje de humedad en tallo con 78,4%, mientras que los tratamiento de con dosis de (P0) tienen el menor contenido de humedad en tallo con el 77,8% (Figura 80).

**Cuadro 89: Resultados de Efecto del P en contenido de humedad en tallo de Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

P	Medias	Error Estándar	
P400	78,4	0,3	A
P200	78,3	0,3	A
P0	77,8	0,3	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



**Figura 80: Efecto del P en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje**

Revisando los resultados obtenidos se observa que, no existe interacción positiva entre enmiendas y el P (p-value = 0.2150), el coeficiente de variación (CV) es de 1,66% (Cuadro 90).

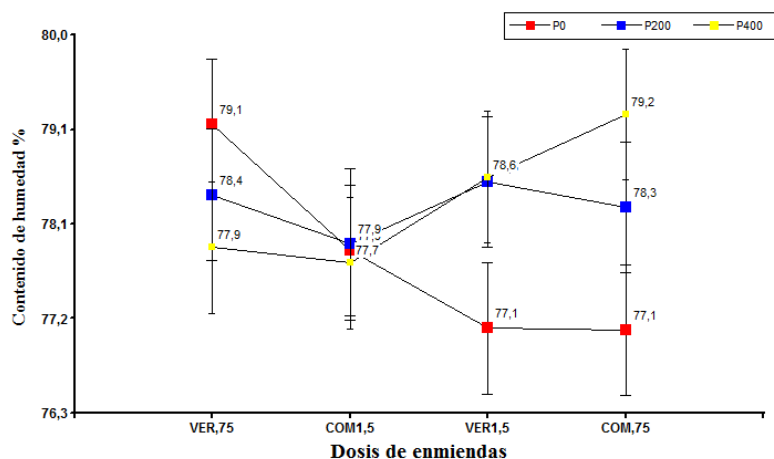
**Cuadro 90: Resultados de Interacción de enmiendas y el P en contenido de humedad en tallo Gypsophila a la cosecha en porcentaje, medias ajustadas y errores estándares comparados con LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ )**

Enmiendas	P	Medias	Error Estándar		
COM0,75	P400	79,2	0,7	A	
VER0,75	P0	79,1	0,7	A	
VER1,5	P400	78,6	0,7	A	B
VER1,5	P200	78,5	0,7	A	B
VER0,75	P200	78,4	0,7	A	B
COM0,75	P200	78,3	0,7	A	B
COM1,5	P200	77,9	0,8	A	B
VER0,75	P400	77,9	0,7	A	B
COM1,5	P0	77,9	0,7	A	B
COM1,5	P400	77,7	0,7	A	B
VER1,5	P0	77,1	0,7		B
COM0,75	P0	77,1	0,7		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

CV = 1,66%

Se puede ver que, el mayor contenido de humedad en tallo le corresponde al tratamiento (COM0,75 P400) con 79,2%, quedando en último lugar el tratamiento (COM0,75 P0) con el 77,1% de humedad (Figura 81).



**Figura 81: Interacción de enmiendas y el P en contenido de humedad en tallo *Gypsophila* a la cosecha en porcentaje**

Revisados los resultados se puede ver que no hay diferencias estadísticas significativas para las variables en estudio, del análisis por factores, el vermicompost en dosis de 1,5% y el P en dosis de 200 kg/ha obtiene los resultados mayores de altura, número de laterales, peso fresco y peso seco de tallos, en tanto que los datos de interacción de enmiendas y el P, le dan el resultado mayor para estas variables al tratamiento con compost 1,5% con P de 200 kg/ha, Para contenido de humedad de tallos el compost y el vermicompost a 0,75% con dosis de p de 400 kg/ha tiene mejores resultados.

Las enmiendas orgánicas mejoran las condiciones del suelo en relación a sus características físicas, químicas y biológicas (Jaurixje *et al.*, 2013; Orozco *et al.*, 2016; Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016), lo que permite condiciones favorables para la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, esto significa mayor rendimiento del cultivo. La reducida disponibilidad P en el suelo es uno de los principales factores que limita el crecimiento y rendimiento del cultivo. La interacción del P con diferentes nutrientes del suelo es de suma importancia en la absorción, traslocación y utilización de este elemento por la planta.

Disminuir la sorción de P en los suelos mejora de la eficacia de la absorción de P, si la sorción de P en el suelo es reversible a niveles más altos de C en solución, las aportaciones de materiales orgánicos, que aumentan los niveles de C orgánico disuelto, pueden aumentar la solubilidad de P y su disponibilidad para las plantas (Erich *et al.*, 2002).

La MO tiene una relación positiva con la sorción del P en el suelo, sin embargo, las enmiendas orgánicas mejoran el contenido de las formas de P extraíbles y los índices de saturación de P (Yan *et al.*, 2013).

El P disponible está en función de la cantidad de ortofosfatos de la enmienda orgánica, que al tener dos enmiendas con diferentes contenidos de ortofosfatos obtuvo contenidos similares de P en las plantas, esto podría explicarse por la mayor proporción de fitato, la mayor colonización de las raíces es decir las interacciones entre la química y la biología del suelo (Mackay *et al.*, 2017). Las enmiendas orgánicas proporcionan un rejuvenecimiento estructural al suelo, aumentan la proporción de macroagregados estables en agua que reducen el peligro de pérdida de P por escorrentía y mejoran su disponibilidad (Mitran *et al.*, 2017)

El compost combinado con fertilizante inorgánico mejoró significativamente las propiedades del suelo como el fósforo disponible, las relaciones C/N y C/P al inicio y las concentraciones de elementos nutritivos en plantas de maíz diez semanas después de la siembra con un mayor contenido de materia seca (Daza-Torres, 2014) Los tratamientos que combinaron fertilizantes orgánicos y fertilizantes químicos presentaron un mejor suministro de P en el suelo para ser utilizado por las plantas (Daza-Torres *et al.*, 2008). La combinación de lombricompost y fertilizante inorgánico tuvieron un mayor efecto positivo sobre las propiedades del suelo y sobre las variables agronómicas del cultivo de frijol, comparando con aplicaciones por separado y con el testigo (Jácome *et al.*, 2013).

#### **1.13.7 Contenido foliar de elementos mayores y menores en (*Gypsophila paniculata*)**

Al incorporar enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost, combinadas con P en diferentes dosis, como se observa en el Cuadro 91, al tratamientos (COM 1,5 P200) le corresponden valores mayores de peso seco (10,34 g), contenido foliar de P (0,196%) y contenido foliar de N (3,14%), el tratamiento (VER 1,5 P0) tiene un valor alto de peso seco (9,83 g), pero su contenido foliar de P (0,178%) y N (2,69%) son menores en relación al tratamientos (VER 1,5% P200) con un peso seco de (9,51 g) que tiene un contenido foliar de P (0,210%) y N (2,86%). Para el caso del compost, a mayor contenido foliar de P (0.196%) mayor contenido foliar de Ca (5,31%) y menor contenido foliar de K (2,36%), en tanto que con vermicompost a mayor contenido foliar de P (0,202%) menor contenido foliar de Ca (4,76%) y mayor contenido foliar de K (2,51%). Para el caso del compost y vermicompost a dosis de 0,75% al incrementar la dosis de P (0 – 200 – 400 kg/ha) disminuye la concentración foliar de N (2,80 – 2,46 – 2,35%) y para la dosis 1,5% de enmiendas orgánicas al incrementar la dosis de P (0 – 200 – 400 kg/ha) se incrementa el contenido foliar de N (2,30 – 2,60 – 2,77%). La adición de enmiendas orgánicas al

suelo en forma de compost y vermicompost, aumenta la disponibilidad del P, el alto grado de mineralización, el ácido húmico y pequeñas moléculas de ácido orgánico, reduce el pH del suelo (Yu *et al.* 2013), mejoran las características del suelo como la densidad aparente, la disponibilidad de agua y oxígeno (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2016), modifica la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo (Martínez *et al.*, 2008), facilitando la disponibilidad de P que se mueve por difusión (movimiento lento) y tiene un efecto en el crecimiento de las raíces, lo que incrementa el área de absorción de nutrientes y da como resultado mayor producción de biomasa (Marschner 2012), aporta nutrientes y microorganismos beneficiosos al suelo (Laich 2011), los microorganismos del suelo que incluyen microorganismos, mesofauna y macrofauna, desempeñan un papel crítico en el ciclo de nutrientes por mineralización, compuestos orgánicos en nutrientes inorgánicos o transformación de nutrientes que luego pueden ser absorbidos por las plantas, la mineralización se lleva a cabo principalmente por microorganismos (Marschner 2012). La combinación de enmiendas orgánicas con fertilizantes químicos, obtuvo la menor retención de fosfatos, y constantes de afinidad medias lo que garantiza el suministro del nutriente a la planta, este efecto es temporal, por lo que se deben realizar aplicaciones periódicas con el fin de mantener una concentración adecuada de P en la solución del suelo, bajos niveles de aplicación produjeron mayor efecto que los altos niveles. (Daza-Torres, 2014). La combinación de biofertilización y fertilización química, influyó positivamente sobre la capacidad de almacenamiento de agua en un 10.36%, la capacidad de intercambio catiónico 83,05%, la materia orgánica 24,41% y la biomasa microbiana del suelo 113,99% (Orozco et al., 2016).

**Cuadro 91: Resultados de peso seco de tallo y contenido foliar de elementos mayores a la cosecha en *Gypsophila*, promedios de contenido foliar de enmiendas dosis de enmiendas y dosis de P.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Peso seco tallo</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
COM0,75 P 0	7,51	2,80	0,177	3,00	5,30	0,80	0,06
COM0,75 P200	8,28	2,46	0,172	2,56	5,24	0,80	0,06
COM0,75 P400	8,73	2,35	0,175	2,60	4,53	0,71	0,04
COM1,5 P0	8,51	2,30	0,181	2,57	5,01	0,84	0,04
COM1,5 P200	10,34	2,60	0,196	2,36	5,31	0,77	0,05
COM1,5 P400	7,74	2,77	0,187	2,54	4,97	0,71	0,05
VER0,75 P0	9,09	3,14	0,208	2,65	4,83	0,64	0,04
VER0,75 P200	8,67	2,86	0,205	2,44	5,63	0,73	0,04
VER0,75 P400	8,76	2,69	0,204	2,43	5,09	0,71	0,04
VER1,5 P0	9,83	2,69	0,178	2,36	4,67	0,71	0,04
VER1,5 P200	9,51	2,86	0,210	2,51	4,76	0,74	0,04
VER1,5 P400	8,57	2,97	0,205	2,42	4,89	0,74	0,04
<b>Enmiendas</b>							
COM	8,52	2,55	0,182	2,61	5,06	0,77	0,05
VER	9,07	2,87	0,202	2,47	4,98	0,71	0,04
<b>Dosis enmiendas</b>							
0,75	8,51	2,72	0,190	2,61	5,10	0,73	0,05
1,5	9,08	2,70	0,193	2,46	4,94	0,75	0,04
<b>Dosis P</b>							
P0	8,73	2,73	0,186	2,65	4,95	0,75	0,04
P200	9,20	2,70	0,196	2,47	5,24	0,76	0,05
P400	8,45	2,70	0,193	2,50	4,87	0,72	0,04

El promedio de tratamientos con vermicompost tiene mayor peso de materia seca (9,07 g) con un mayor contenido de N (2,87%) y P (2,02%), esto frente al promedio de los tratamientos con compost que tiene un peso seco (8,52 g) y que tiene un mayor contenido de K (2,61%), Ca (5,06%), Mg (0,77%) y Na (0,05%). Para el promedio de la dosis de enmiendas orgánicas, a la dosis 1,5% le corresponde el mayor peso de materia seca (9,08 g) y está influenciado por un mayor contenido de P (0,193%). Para el promedio de dosis de P, a la dosis P 200 le corresponde el mayor peso de materia seca (9,20 g) y tiene un mayor contenido de P (0,196%), Ca (5,24%), Mg (0,76%) y Na (0,05%), siendo menor su contenido de N (2,70%) y K (2,47%), hay que señalar que el promedio de dosis de P400 obtiene los menores valores de peso seco (8,45 g), a pesar de tener un contenido mayor de P (0,193%) en las hojas (Cuadro 91). Esto guarda relación con lo manifestado por Zheljzakov y Warman (2003), las enmiendas orgánicas contienen cantidades considerables fósforo disponible para el crecimiento de la planta, por lo que el suministrar

materia orgánica al suelo es importante para la agricultura, la adiciones de compost pueden mejorar las propiedades fisicoquímicas de los suelos y su fertilidad. En tanto que Uddin *et al.* (2012), señala que la adición de P con enmiendas orgánicas aumentó significativamente la producción de biomasa de maíz, en tanto que la adición de fertilizante súper fosfato triple, solo aumentó la concentración de P en la planta, no el crecimiento, como lo hicieron las enmiendas orgánicas. Para Fuentes *et al.* (2006), el contenido de P inorgánico en forma de ortofosfatos dentro del compost es alto pero solo entre el 30-50% está disponible para la planta. Bhattacharyya *et al.* (2016) señalan que la nutrición con fósforo favorece a los microorganismos que desempeñan un papel esencial al aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Otros organismos como los hongos micorrízicos arbusculares, colonizan las raíces, aumentan el crecimiento y la reproducción vegetal, potenciando la absorción de nutrientes en el suelo, especialmente los inmóviles como el fósforo y potasio (Dasgan *et al.*, 2012). El crecimiento y la actividad de los microorganismos en el suelo, está principalmente limitado por la disponibilidad de carbono, los exudados de las raíces son generalmente de bajo peso molecular y de fácil descomposición, por lo tanto, la densidad de población de los microorganismos es considerablemente más alta en la rizosfera que en el suelo a granel (Marschner 2012). De acuerdo con lo presentado por Clavache (2001) para los niveles de elementos en resultados de análisis foliar de *Gypsophila*, el N y el P se encuentran en el intervalo de deficiencia ( $< 3,5\%$  para N y  $< 0,25\%$  para P), el K, Ca y Mg se sitúan en el intervalo de normalidad (1,8 – 4,0% para K, 4,1- 6,0% para Ca y 0,8 – 1,3% para Mg). El requisito de P para un crecimiento óptimo está en el rango de 0,3 a 0,5% durante la etapa vegetativa de crecimiento, pero algunas plantas que han evolucionado en P, contienen niveles menores de P en sus hojas (Marschner 2012).

Para los elementos menores, a los tratamientos (COM 1,5 P200) y (VER 1,5 P0) que tienen los valores más altos de peso seco, les corresponde valores menores de contenido foliar de Zn, Cu, Mn y Fe, en relación con los otros tratamientos (Cuadro 92).



**Cuadro 92: Resultados de peso seco y contenido foliar de elementos menores a la cosecha en Gypsophila, promedios de contenido foliar de enmiendas dosis de enmiendas y dosis de P.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Peso seco tallo</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
	<b>g</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
COM0,75 P 0	7,51	50,00	43,00	64,00	548,00
COM0,75 P200	8,28	49,00	58,00	67,00	618,00
COM0,75 P400	8,73	52,00	53,00	61,00	580,00
COM1,5 P0	8,51	48,00	42,00	56,00	478,00
COM1,5 P200	10,34	48,00	37,00	56,00	534,00
COM1,5 P400	7,74	49,00	55,00	68,00	583,00
VER0,75 P0	9,09	59,00	77,00	65,00	602,00
VER0,75 P200	8,67	45,00	60,00	70,00	550,00
VER0,75 P400	8,76	46,00	57,00	62,00	504,00
VER1,5 P0	9,83	45,00	38,00	59,00	468,00
VER1,5 P200	9,51	46,00	45,00	62,00	479,00
VER1,5 P400	8,57	38,00	69,00	61,00	587,00
<b>Enmiendas</b>					
COM	8,52	49,33	48,00	62,00	556,83
VER	9,07	46,50	57,67	63,17	531,67
<b>Dosis enmiendas</b>					
0,75	8,51	50,17	58,00	64,83	567,00
1,5	9,08	45,67	47,67	60,33	521,50
<b>Dosis P</b>					
P0	8,73	50,50	50,00	61,00	524,00
P200	9,20	47,00	50,00	63,75	545,25
P400	8,45	46,25	58,50	63,00	563,50

El promedio de los tratamientos con vermicompost tiene mayor valor de peso seco (9,07 g) y les corresponde valores más altos de contenido foliar de Cu (57,67 ppm) y Mn (63,17 ppm). Para el promedio de la dosis de enmiendas 1,5% le corresponde el mayor valor de peso seco (9,08 g) y su contenido foliare es menor en Zn (45,67 ppm), Cu (47,67 ppm), Mn (60,33 ppm) y Fe (521,50 ppm). El promedio de la dosis de P200 tiene el mayor valor de peso seco (9,20 g), y su contenido foliar de Mn (63,75 ppm) es mayor.

Tomando como referencia para la Gypsophila los intervalos para interpretar análisis foliares propuestos por Calvache (2001), se observa que para Cu y Fe todos los tratamientos están en el intervalo de Exceso (> 36 ppm para Cu y > 200 ppm para Fe), Mg y Zn se sitúan en el intervalo de normalidad (57 – 182 ppm para Mn y 26 – 81 ppm para Zn), para el caso del Cu, la posible causa es la utilización del fungicida BioNut con principio activo Sulfato de Cobre Pentahidratado, en tanto que el exceso de Fe puede ser por la fuente, es decir el aporte de las enmiendas orgánicas. Por otra parte, al ser las

muestras tomadas al momento de la cosecha, se debe tener en cuenta que, el contenido de elementos en la planta varia con la edad de estas, por lo general los contenidos de N, P y K disminuyen con la edad de la planta, en tanto que el contenido de Ca, Mg, Mn, Fe, Al y B a menudo aumenta (Mengel y Kirkby, 1987), al respecto, Medina *et al.* (1999). señala que las concentraciones totales de N, P y K en las hojas de *Gypsophila*, disminuyen con la edad del tejido.

## CONCLUSIONES

De la caracterización de los elementos en estudio:

- 1 El vermicompost presenta mejores índices de calidad, dados por su menor valor de pH, menor salinidad, menor concentración de sodio y una mayor humedad retenida, que lo convierten en un sustrato más adecuado para ser utilizado en la agricultura.
- 2 De acuerdo con la isoterma de Langmuir, el suelo no presenta un nivel significativo de retención del P.

Para el efecto de la incorporación de enmiendas orgánicas:

- 3 En la cosecha 1 y cosecha 2, el compost presenta los mejores resultados de altura y peso seco de tallos de Gypsophila, en cosecha 3 el vermicompost obtiene mejores resultado.
- 4 El tratamiento compost 0,50% se presenta como la mejor alternativa económica para el cultivo de Gypsophila.
- 5 Las enmiendas orgánicas, permiten mejorar las características del suelo y posibilitan una mayor disponibilidad de nutrientes.
- 6 La Gypsophila es un cultivo que causa la degradación del suelo.
- 7 La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost incrementan el porcentaje de MO en el suelo, la media más alta se obtiene con el tratamiento compost 2%.
- 8 Las enmiendas orgánicas le dan al suelo una mayor estabilidad en relación al pH del suelo, es decir se tiene un mayor poder tampón.
- 9 Las enmiendas en forma de compost y vermicompost le dan mayor macroporosidad al suelo lo que se observa en la disminución de la densidad aparente, permitiendo un mejor balance hídrico, lo cual contribuye a mejorar las condiciones de absorción de nutrientes mayores y menores en el cultivo de la Gypsophila.

De la adición de dosis crecientes de fósforo y potasio:

- 10 La aplicación de fósforo en forma de  $P_2O_5$  tiene un efecto positivo en el suelo en relación con el desarrollo de plantas de maíz. La dosis de P 200 ppm alcanzó los mejores resultados de las variables agronómicas en maíz.

De la incorporación de dosis de enmiendas orgánicas y fósforo:

- 11 Los tratamientos con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost al 1,5% con dosis de P de 200 kg/ha, presentan los mejores resultados de altura y peso seco de tallos en *Gypsophila*.
- 12 La incorporación de enmiendas orgánicas y dosis de fósforo en forma de  $P_2O_5$  mejoran la disponibilidad de los elementos en el suelo.
- 13 La disponibilidad de P en el suelo se incrementa con la incorporación de enmiendas orgánicas.

## **RECOMENDACIONES**

- 1 Llevar el trabajo experimental a nivel de campo para comprobar en situ los resultados obtenidos.
- 2 En investigaciones posteriores incorporar la evaluación de las características biológicas del suelo.
- 3 Evaluar el efecto de la incorporación periódica de las enmiendas orgánicas en suelos con problemas de degradación.
- 4 Realizar trabajos de investigación relacionados al incremento de la C.E. debido a la incorporación de las enmiendas orgánicas en forma de compost.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGON, M 2002. Gypsophila. Editorial Hortitecnia. 67 p
- ÁLVAREZ, C; RIMSKI-KORSAKOV, H. 2016. Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. Ed. EFA. Buenos Aires, s.e., 165.
- ÁLVAREZ, CR; FERNÁNDEZ, PL; TABOADA, MA. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo de los suelos en la región pampeana. Ciencia del Suelo 30(2): 173-178.
- ATIYEH, RM; SUBLER, S; EDWARDS, CA; BACHMAN, G; METZGER, JD; SHUSTER, W. 2000. Effects of vermicomposts and conposts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo biologia* 44: 579-590.
- BHATTACHARYYA, PN; GOSWAMI, MP; BHATTACHARYYA, LH. 2016. Perspective of beneficial microbes in agriculture under changing climatic scenario : A review. *Journal of Phytology* 8: 26-41.
- BELTRÁN-MORALES, FA; GARCÍA-HERNÁNDEZ, JL; RUIZ-ESPINOZA, FH; PRECIADO-RANGEL, P; FORTIS-HERNÁNDEZ, M; GONZÁLEZ-ZAMORA, A; VALDEZ-CEPEDA, D. 2016. Efectos de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño ( *Capsicum annum* L .). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(7): 143-149.
- BINNER, E; MENDEZ, L; MIYASHIRO, V. 2016. Gestión de residuos sólidos municipales en el Perú y en Austria. Mitigación de impactos ambientales en el clima y el agua. Lima. Fondo Editorial – UNALM. 186 p.
- BLACK, C; EVANS, D; WHITE, J; ENSMINGER, L; CLARK, F. 1965. Methods of soil analysis. American S Madison, Wisconsin, USA, s.e., 1569.
- BOE, BO DEL E. 2013. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. 2013: 51119.

BONANOMI, G; D'ASCOLI, R; SCOTTI, R; GAGLIONE, SA; CACERES, MG; SULTANA, S; SCELZA, R; RAO, MA; ZOINA, A. 2014. Soil quality recovery and crop yield enhancement by combined application of compost and wood to vegetables grown under plastic tunnels. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192(0):1-7.

BORGES, L; ESCAMILLA, A; SORIA, M. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinamericana* 23: 437-445.

CALVACHE, M. 2001. Fertirriego en cultivos ornamentales. *La flor del Ecuador* 29: 18-25.

CANTERO, A; BAILÓN, R; VILLANUEVA, R; CALIXTO, M DEL C; ROBLES, F. 2016. Compost made with green waste as an urban soil improver. *Ingeniería Agrícola y Biosistema* 8: 71-83.

CATUCUAMBA, RSL. 2004. Efectos del manejo de pinch en la producción de *Gypsophila* (*Gypsophila paniculata* L.), variedad Perfecta con siembra iverpada y sin iverpar, bajo cubierta, en Quiroga-Provincia de Inbabura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

CASAS, R. 2012. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. España. Editorial Paraninfo. 237 p.

CASIERRA-POSADA, F; PEÑA, JE. 2010. Crecimiento y producción de *Gypsophila paniculata* en respuesta al termoperiodo, confinamiento y despunte. *Colimbiana de Ciencias Hortícolas* 4(3): 209 - 222.

CASTELO-GUTIÉRREZ, AA; GARCÍA-MENDÍVIL, HA; CASTRO-ESPINOZA, L; LARES-VILLA, F; ARELLANO-GIL, M; FIGUEROA-LÓPEZ, P; GUTIÉRREZ-CORONADO, MA. 2016. Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 22(2): 83-93.

CASTRO, A; HENRÍQUEZ, C; BERTSCH, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(0377-9424): 31-43.

CHANG, E; CHUNG, R; TSAI, Y; CHANG, E; CHUNG, R; TSAI, Y. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition* 53(0038-0768): 132-140.



- COLMEIRO, RF. 2006. Agroecosistemas sostenibles y ecológicos. Servicio de Publicación e Intercambio Científico ed. Santiago de Compostela, España p. 55. 250 p.
- CORTÉS-D, DL; PÉREZ-B, JH; CAMACHO-TAMAYO, JH. 2013. Relación espacial entre la Conductividad Eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 16(2): 401-408.
- CORVASCE, M; ZSOLNAY, A; D'ORAZIO, V; LOPEZ, R; MIANO, TM. 2006. Characterization of water extractable organic matter in a deep soil profile. Chemosphere 62(10): 1583-1590.
- COYNE, M. 2000. Microbiología del Suelo: un enfoque exploratorio. Madrid, España, Editorial Paraninfo. p. 397.
- CRESPO, G. 2009. Recuperación De La Fertilidad Del Suelo En Áreas Ganaderas Degradadas. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 43(0034-7485): 355-360.
- DASGAN, HY; AYDONER, G; AKYOL, M. 2012. Use of Some Microorganisms as Bio-Fertilizers in Soilless Grown Squash for Saving Chemical Nutrients. Acta Horticulturae 2012: 155-162.
- DAWSON CJ, HILTON J. 2011. Fertiliser availability in a resource limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. Food Policy 36: 14-22.
- DAZA-TORRES, MC; ÁLVAREZ-HERRERA, JG; CAMACHO-TAMAYO, JH. 2008. Aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en la adsorción de fósforo en un Oxisol. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12(5): 451-457.
- DAZA-TORRES, M. 2014. Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz ( *Zea mays* ). Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(3): 22-30.
- DE LA HORRA, A.; CONTI, M.; DEFRIERI, R. 1993. Potasio disponible, utilización de los extractanes acetato de amonio y bray-kurtz. Ciencia del suelo 10(11): 107-112.
- DE LA PUENTE, JMÁ. 2013. Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.

DEL BUBBA, M; ARIAS, CA; BRIX, H. 2003. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds as measured by the Langmuir isotherm. *Water Research* 37: 3390-3400.

DELGADO-MORENO, L; PEÑA, A. 2009. Compost and vermicompost of olive cake to bioremediate triazines-contaminated soil. *Science of The Total Environment* 407(5):1489-1495.

DELGADO, R; NUÑEZ, M; VELÁSQUEZ, L. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de Nitrógeno, Fosforo y Potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la Fertilización Nitrogenada. Maracay-Venezuela. *Agronomía Tropical*, 54(4), 371-390.

DELGADO, MR. 2012. Optimización de las variables implicadas en el proceso de compostaje de RSU para minimizar la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Huelva-España, Universidad de Huelva. 175 p.

DELGADO, M. 2012. Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011. 2012: 69-83.

DÍAZ, E; MORALES, E; FRANCO, O; DOMÍNGUEZ, A. 2011. Atenuación de la luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. *Terra Latinamericana* 29: 65-72.

DING, D; ZHAO, Y; FENG, H; PENG, X; SI, B. 2016. Using the double-exponential water retention equation to determine how soil pore-size distribution is linked to soil texture. *Soil and Tillage Research* 156: 119-130.

DI RIENZO, J.A; CASANOVES, F; BALZARINI, M.G; GONZALEZ, L; TABLADA, M; ROBLEDO, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 115 p.

DI RIENZO, J; MACCHIAVELLI, R; CASANOVES, F. 2017. Modelos Lineales Mixtos Aplicaciones en InfoStat. Primera edición, 189 p.

DURAN, L; HENRÍQUEZ, C. 2010. El vermicompost : su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta 1. *Agronomía Mesoamericana* 21(1021-7444): 85-93.

- DUVAL, ME; CAPURRO, JE; GALANTINI, JA; ANDRIANI, JM. 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del Suelo* 33(2): 247-261.
- ERICH, MS; FITZGERALD, CB; PORTER, GA. 2002. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 79-88.
- ESPINOSA, M; ANDRADE, E; RIVERA, P; ROMERO, A. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas. *Papeles de Geografía* 2011: 77-88.
- EL-HADDAD, ME; ZAYED, MS; EL-SAYED, GAM; HASSANEIN, MK; ABD EL-SATAR, AM. 2014. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. *Annals of Agricultural Sciences* 59(2):243-251.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de Portal de suelos de la FAO: <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FASSBENDER, H.W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*. 3 (1 y 2): 203-216.
- FASSBENDER, HW; BORNEMISZA, E. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* Segunda ed. San José, Costa Rica, IICA.
- FERNÁNDEZ, MT. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 41(2):51-57.
- FORNES, F; MENDOZA-HERNÁNDEZ, D; GARCÍA-DE-LA-FUENTE, R; ABAD, M; BELDA, RM. 2012. Bioresource Technology Composting versus vermicomposting : A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology* 118: 296-305.
- FUENTES, B; BOLAN, N; NAIDU, R; DE LA LUZ, M. 2006. Phosphorus in organic waste-soil system. *Soil Sc. Plant. Nutri* 6(2): 64-83.

GARCÍA, Á. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Información Agronómica de Hispanoamérica* 6: 27-36.

GARCÍA, E. 2013. Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono. s.l., Universidad de Murcia. 321 p.

GARCÍA, Y. 2015. Calidad de agua con fines de riego. *Medio Ambiente* 35: 1-12.

GIBBS, HK; SALMON, JM. 2015. Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography* 57:12-21.

GÓMEZ, C. 2014. Análisis histórico del sector florícola en el Ecuador y estudio del mercado para determinar su situación actual. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Administración para el Desarrollo.

HASSINK, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem* 26(9): 1221-1231.

HAVERKAMP, R.T., PARLANGE, J.Y., 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: 1. Sandy soils without organic matter. *Soil Sci.* 142, 325–339

HERNÁNDEZ, A; CASTILLO, H; OJEDA, D; ARRAS, A; LÓPEZ, J; SÁNCHEZ, E. 2010. Effect of vermicompost and compost on lettuce production. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(4): 583-589.

HERNÁNDEZ, J. 2011. Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. s.l., Universidad Politécnica de Madrid. 143 p.

HIRZEL, J, RODRÍGUEZ, N, & ZAGAL, E. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agricultura Técnica*, 64(4), 365-374.

HUERTA LWANGA, E; RODRÍGUEZ-OLÁN, J; EVIA-CASTILLO, I; MONTEJO-MENESES, E; CRUZ-MONDRAGÓN, M DE LA; GARCÍA HERNÁNDEZ, R. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo*. 26(2395-8030): 171-181.

- JÁCOME, A; PEÑARETA, W; DAZA, M. 2013. Fertilización orgánica e inorgánica en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelo inceptisol con propiedades ándicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 12: 59-67.
- JAURIXJE, M; TORRES, D; MENDOZA, B; HENRÍQUEZ, M; CONTRERAS, J. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25(1316-3361): 47-56.
- JIMÉNEZ BALLESTA, R; GONZÁLEZ-QUIÑONES, V. 2006. La calidad del suelo como medida para su conservación. *Edafología* 13(3): 125-138.
- JULCA-OTINIANO, A; MENESES-FLORIÁN, L; BLAS-SEVILLANO, R; BELLO-AMEZ, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 24(1):49-61.
- KANISSERY, RG; SIMS, GK. 2011. Biostimulation for the enhanced degradation of herbicides in soil. *Applied and Environmental Soil Science* 2011.
- KARLEN, DL; DITZLER, CA; ANDREWS, SS. 2003. Soil quality : why and how ? *Geoderma* 114: 145-156.
- KHOURI, EA. 2005. Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental. Ediciones de la Universidad de Oviedo ed.
- LAICH, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 2011: 1-7.
- LAZCANO, C; GÓMEZ-BRANDÓN, M; DOMÍNGUEZ, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72: 1013-1019.
- LI, X; XING, M; YANG, J; HUANG, Z. 2011. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. *Journal of Hazardous Materials* 185: 740-748.
- LÓPEZ, J; ROMERO, M; BENAVENTE-GRACIA, A; GUERRERO, L. 2006. Complementos ornamentales de verde y flor. Especies de interés para la región de Murcia. Ed. R de MC de A y Agua. Serie Técn s.l., Pictografía, S.L., 1-216.

LOZANO, Z; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, RM; BRAVO, C; RIVERO, C; TORO, M; DELGADO, M. 2012. Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37(11): 820-827.

LYNCH J P (2007) Roots of the second Green Revolution. *Turner Review, Australian Journal of Botany*, Volume 55, p.493-512.

MACÍAS, F. 2004. Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de Carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurais* 1:49-56.

MACKAY, JE; MACDONALD, LM; SMERNIK, RJ; CAVAGNARO, TR. 2017. Soil Biology & Biochemistry Organic amendments as phosphorus fertilisers: Chemical analyses, biological processes and plant P uptake. *Soil Biology and Biochemistry* 107: 50-59.

MANSILLA, E. 2014. Fuentes fosfatadas y compost en la bioacumulación de cadmio en plantas de maíz (*Zea mays* L.) bajo invernadero. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

MARSCHNER, P. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edition*. s.l., Elsevier Ltd., 651.

MARTÍNEZ, E; FUENTES, J; ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Suelo Nutrición Vegetal* 8(1): 68-96.

MATUS, F; MAIRE G; CHRISTIAN R. (2000). Interaction between soil organic matter, soil texture and the mineralization rates of carbon and nitrogen. *Agricultura Técnica*, 60(2), 112-126.

MEDINA, G; OROZCO, M; BOLIVAR, J; RAMÍREZ, P. 1999. Acumulación y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta. *Agronomía Colombiana* 16((1-3)): 46-50.

MEDINA, MÁN. 2005. Especiación de fósforo en suelos ándicos de las Islas Canarias. Santa Cruz de Tenerife - España, Universidad de La Laguna. 219 p.

- MELGAREJO, MR; BALLESTEROS, MI; BENDECK, M. 1997. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y composts derivados de diferentes sustratos. *Colombiana de Química* no.26 (2): 11-19.
- MENDOZA, D DE J. 2010. Vermicompost y compost de residuos hortícolas como componentes de sustratos para la producción de plantas ornamentales y aromáticas. Caracterización de los materiales y respuesta vegetal. s.l., Politécnica de Valencia. 427 p.
- MENGEL, KONRAD; KIRKBY, ERNEST. 1987. Principio de Nutrición Vegetal. International Potash Institut, 4 ta edición. Suiza, 607 p.
- MILANÉS FIGUEREDO, M; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, H; RAMOS GÁLVEZ, R; RIVERA AMITA, MM. 2005. Efectos del compost vegetal y humus de lombriz en la producción sostenible de capítulos florales en *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 10 (1): 1-7.
- MITRAN, T; MANI, PK; BANDYOPADHYAY, PK; BASAK, N. 2017. Influence of organic amendments on soil physical attributes and aggregate associated phosphorus under long-term rice-wheat cropping. *Pedosphere* 2017.
- MOLINA, E; GAMBOA, J; GONZÁLEZ, P. 1991. Fertilización potásica de *Gypsophila paniculata* cv. Perfecta en paraiso, Cartago. *Agronomía Costarricense* 15((1/2)): 185-187.
- MONTEIRO, MDCSM. 2005. La disponibilidad de fósforo por el método de Olsen en suelos ácidos de Portugal: significado agronómico y ambiental. Córdoba - Argentina, Universidad de Córdoba. 122 p.
- NAVARRO, S; NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola. Ed. Mundi-Prensa. 2 ed. Madrid, s.e., 432.
- OLIVARES, MA; HERNÁNDEZ, A; VENCES, C; JÁQUEZ, J; OJEDA, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia* 28(1): 27-37.
- OLSEN, S. R.; WATANEBE, F. S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America. Proceedings* 21: 144-149.

- OROZCO, A; VALVERDE, M; TRÉLLES, R; CHÁVEZ, C; BENAVIDES, R. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinamericana* 34(2395-8030): 441-456.
- PASCUAL, JA; GARCIA, C; HERNANDEZ, T; MORENO, JL; ROS, M. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry* 32(13):1877-1883.
- PORTA, J; LÓPEZ, M; ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 960 p.
- PRO ECUADOR; DIRECCIÓN DE INTELIGENCIA COMERCIAL E INVERSIONES. 2015. Análisis sectorial flores de verano. 14 p.
- PRO ECUADOR; DIRECCIÓN DE INTELIGENCIA COMERCIAL E INVERSIONES. 2013. Análisis sectorial de flores. 34 p.
- QUIROGA, A; BONO, A. 2012. Manual de fertilidad y evaluación de. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA Argentina, s.e., 156.
- RAMÍREZ, ME; LIMAS, EDCA; ORTIZ, PR; DÍAZ, MAR. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía* (53):77-88.
- REYNOLDS, W.; BOWMAN, B.; DRURY, C.; TAN, C.; LU, X. 2002. Indicators of good soil physical quality : density and storage parameters. *Goderma* 110: 131-146.
- RICARDO, J; REYES, B. 2004. Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos. *Tecnicaña* no.8: 33-40.
- RODRÍGUEZ, I; CRESPO, G; MORALES, A; FRAGA, BCS. 2011. Comportamiento de los indicadores biológicos del suelo en unidades lecheras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45: 187-193.
- ROMAN, P. 2013. Manual del compostaje del agricultor experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura, Santiago.



RUBENACKER, A; CAMPITELLI, P; SERENO, R; CEPPI, S. 2004. Recuperación Química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicomposto. Redalyc.org 2: 96.

SAAVEDRA, M. 2007. Biodegradación de Alperujo utilizando hongos del género Pleurotus y anélidos de la especie Eosenia foetida Granada - España, Universidad de Granada. 195 p.

SAEZ, A. 2000. Optimización de los métodos para mejorar la calidad del compost de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Madrid-España, Universidad Politécnica de Madrid. 243 p.

SÁNCHEZ, N; SUBERO, N; WINDEVOXHEL, R. 2010. Adsorción de fósforo en suelos ácidos Venezolanos de uso agrícola. Ingeniería y Sociedad 5(1): 25-30.

SANTANA, JCM; ULLOA, FEF. 2013. Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre propiedades físicas de un suelo sulfatado ácido. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas pp 207-214.

SASTRE-CONDE, I; CARMEN LOBO, M; ICELA BELTRÁN-HERNÁNDEZ, R; POGGI-VARALDO, HM. 2015. Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. Geoderma 247–248(0):140-150.

SEPÚLVEDA VARAS, A; GONZÁLEZ, E; INOSTROZA, C. 2012. Remediación de la contaminación por nitratos en el suelo: antecedentes generales y pertinencia en zona sur de Chile. Universidad Católica de temuco. Gestión Ambiental pp 13-32

SERNA, C; TRUJILLO, LA; URREA, R. 2011. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica de N-P-K en un andisol de la región centro-occidente de Caldas. Agron 17: 68-76.

SHAPIRO, S.S.; FRANCIA, R.S. (1972). An approximate analysis of variance test for normality. Journal of the American Statistical Association, 67: 215-216.

SHARPLEY, A.; DANIEL, T; SIMS, T; LEMUNYON, R; STEVENS, R; PARRY, R. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. Second edition. 34.

SINIA, SN DE IA. 2005. Norma Chilena de Calidad de Compost NCh2880. 2005: 2-3.

- SMIDT, E., MEISSL, K., SCHMUTZER, M., & HINTERSTOISSER, B. (2008). Co-composting of lignin to build up humic substances--Strategies in waste management to improve compost quality. *Industrial crops and products*, 27(2), 196-201
- SODHI, GPS; BERI, V; BENBI, DK. 2009. *Soil & Tillage Research* Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice – wheat system. 103: 412-418.
- TANG, W-W; ZENG, G-M; GONG, J-L; LIANG, J; XU, P; ZHANG, C; HUANG, B-B. 2014. Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: A review. *Science of The Total Environment* 468–469:1014-1027.
- TEJADA, M; GARCIA, C; GONZALEZ, JL; HERNANDEZ, MT. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38(6):1413-1421.
- TENECELA, X. 2012. Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos. Ecuador, Universidad de Cuenca. 113 p.
- TOGNETTI, C; LOAS, F; MAZZARINO, MJ; HERNANDEZ, MT. 2005. Composting vs . Vermicomposting : A Comparison of End Product Quality. *Compost Science & Utilization* 13(1): 6-13.
- TOMEI, C; HACK, C; PORTA, M. 2007. El método del cultivo intensivo en macetas para el estudio de la fertilidad de suelos. *Agrotecnia* 17: 11-15.
- UDDIN, M; KASHEM, A; OSMAN, KT. 2012. Effect of Organic and Inorganic Amendments on the Phytoavailability of Phosphorus to Corn ( *Zea mays* ). *Scientific Reserch* 2: 50-54.
- VALENCIA, LF. 2015. Determinación de la concentración óptima de azúcar en el proceso de apertura de la flor gypsophila, variedad million stars y xlence, con el propósito de obtener mayor peso y su influencia en el tiempo de vida en florero en plantaciones Malima Cía. Ltda. Ecuador, Universidad de Cuenca. 138 p.
- VALLES-ARAGÓN, MC; OJEDA-BARRIOS, DL; GUERRERO-PRIETO, VM; PRIETO-AMPARAN, JA; SÁNCHEZ-CHAVEZ, E. 2017. Calidad de agua para reigo en una zona nogalera del estado de Chihuahua. *Int. Contam. Ambie.* 33(1): 85-97.

VEGA, CE; MEJÍA, JA. 2017. Performance of *Phaseolus vulgaris* under partial root-zone drying cultivated in a hydrogravitropic system response. *Scientia Agropecuaria* 8(2): 137-147.

VILLALOBOS, F; FERERES, E. 2016. Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Eds. F Villalobos; E Fereres. 1 ed. s.l., Springer International Publishing, 555.

WEAST, R. 1988-1989. CRC Handbook of Chemistry and Physics. Boca Raton. CRC Press., Inc. 2523 pages.

WONG, VNL; DALAL, RC; GREENE, RSB. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology* 41(1):29-40.

YAN, X; WANG, D; ZHANG, H; ZHANG, G; WEI, Z. 2013. Organic amendments affect phosphorus sorption characteristics in a paddy soil. «Agriculture, Ecosystems and Environment» 175: 47-53.

YU, W; DING, X; XUE, S; LI, S; LIAO, X; WANG, R. 2013. Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Soil Science and Plant Nutrition* 13(4).

ZHELJAZKOV, VD; WARMAN, PR. 2003. Application of High Cu Compost to Swiss Chard and Basil. *Science of Total Environment*, 302 (3): 13-26.

ZEVALLOS, M. 1992. Máxima Capacidad de Adsorción de Fósforo en dos Suelos Alcalinos de la Costa central y dos del valle de Huánuco. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Post-Grado, Especialidad de Suelos.



## ANEXOS

### ANEXO 1: Datos tomados para la curva de humedad del suelo

Día	# Maceta	Lectura Humedad equipo	Peso húmedo g	Peso seco g	Pes húmedo - Peso seco g	Humedad gravimétrica %	Humedad volumétrica %
1	1	10	36,62	30,80	5,82	18,90	27,78
	2	9,5	36,40	30,68	5,72	18,64	27,41
	3	10	38,11	31,87	6,24	19,58	28,78
	4	9,7	43,18	36,61	6,57	17,95	26,38
2	1	10	34,23	28,71	5,52	19,23	28,26
	2	10	37,37	31,29	6,08	19,43	28,56
	3	10	34,21	28,41	5,80	20,42	30,01
	4	8	29,91	25,55	4,36	17,06	25,08
3	1	8	39,35	33,22	6,13	18,45	27,13
	2	8	39,01	33,05	5,96	18,03	26,51
	3	8	30,02	25,25	4,77	18,89	27,77
	4	7,5	31,46	27,06	4,40	16,26	23,90
5	1	7	35,12	30,01	5,11	17,03	25,03
	2	6,5	31,40	26,88	4,52	16,82	24,72
	3	6,5	28,70	24,55	4,15	16,90	24,85
	4	5,5	31,40	27,64	3,76	13,60	20,00
8	1	6	35,44	30,61	4,83	15,78	23,20
	2	6	38,27	33,10	5,17	15,62	22,96
	3	5	34,80	30,29	4,51	14,89	21,89
	4	4	29,46	26,21	3,25	12,40	18,23
9	1	5,5	33,86	29,38	4,48	15,25	22,42
	2	5	28,27	24,68	3,59	14,55	21,38
	3	4,5	34,55	30,48	4,07	13,35	19,63
	4	3	34,35	30,84	3,51	11,38	16,73
10	1	4,5	32,39	28,37	4,02	14,17	20,83
	2	5	30,82	26,96	3,86	14,32	21,05
	3	3,5	27,86	24,82	3,04	12,25	18,00
	4	2	29,96	27,37	2,59	9,46	13,91
11	1	4	38,45	33,95	4,50	13,25	19,48
	2	4	40,51	35,87	4,64	12,94	19,02
	3	2,5	36,71	33,32	3,39	10,17	14,96
	4	2,5	36,24	32,97	3,27	9,92	14,58
12	1	3	38,73	34,69	4,04	11,65	17,12
	2	2,5	41,47	37,29	4,18	11,21	16,48
	3	1,5	38,24	35,35	2,89	8,18	12,02
	4	1,5	45,07	41,84	3,23	7,72	11,35
15	1	1,5	33,26	30,66	2,60	8,48	12,47
	2	2	37,17	34,01	3,16	9,29	13,66
	3	1	32,56	30,61	1,95	6,37	9,36
	4	0,5	30,50	28,84	1,66	5,76	8,46

**ANEXO 2: Datos para construcción de isoterma de Langmuir para adsorción de P**

<b>Solución mgP/L</b>	<b>Lectura de Absorbancia</b>	<b>Factor de Dilución</b>	<b>Curva Est. P (ppm)</b>	<b>Concentración de P (mg P/L)</b>	<b>Concentración Blanco P (mg P/L)</b>	<b>P - sorbido q (mg P /Kg)</b>
1,0	0,172	1,0	0,3275	0,3275	1,00	13,449
5,0	0,115	5,0	0,2198	1,0990	5,00	78,019
10,0	0,139	10,0	0,2652	2,6517	10,00	146,967
15,0	0,115	15,0	0,2198	3,2971	15,00	234,058
20,0	0,115	20,0	0,2198	4,3961	20,00	312,077
30,0	0,105	30,0	0,2009	6,0272	30,00	479,456
40,0	0,111	40,0	0,2122	8,4899	40,00	630,202
50,0	0,109	50,0	0,2085	10,4234	50,00	791,533
75,0	0,123	75,0	0,2349	17,6195	75,00	1147,609
100,0	0,112	100,0	0,2141	21,4137	100,00	1571,726

### ANEXO 3: Resultados de análisis de agua para riego



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : JACINTO VAZQUEZ VAZQUEZ  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA  
REFERENCIA : H.R. 54394  
BOLETA : 13179

No. Laboratorio	340
No. Campo	Agua de riego Vivero Pipo
pH	7.85
C.E. dS/m	0.87
Calcio meq/L	6.35
Magnesio meq/L	1.18
Potasio meq/L	0.12
Sodio meq/L	1.09
SUMA DE CATIONES	8.74
Nitratos meq/L	0.13
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	3.25
Sulfatos meq/L	1.61
Cloruros meq/L	3.80
SUMA DE ANIONES	8.79
Sodio %	12.45
RAS	0.56
Boro ppm	0.50
Clasificación	C3-S1

La Molina, 03 de Junio del 2016

  
D. Sady García Bendezu  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**ANEXO 4: Datos ensayo dosis creciente de enmiendas orgánicas cosecha 1, 2 y 3**

**Cosecha 1**

<b>Tratamiento</b>	<b>Repet</b>	<b>Altura tallo cm</b>	<b>Peso fresco tallo g</b>	<b>Peso seco tallo g</b>	<b>Días inicio floración</b>	<b>Laterales</b>	<b>% apertuta laterales</b>	<b>Contenido humedad %</b>
TESTIGO	1	85,5	103,27	27,37	77	14	100,0	73,5
TESTIGO	2	92,0	91,25	23,88	81	13	100,0	73,8
TESTIGO	3	96,5	108,16	28,26	85	14	78,6	73,9
TESTIGO	4	94,5	110,20	26,80	81	13	100,0	75,7
COM 0,25	1	90,5	111,91	28,09	79	13	100,0	74,9
COM 0,25	2	92,6	115,46	28,02	81	14	92,9	75,7
COM 0,25	3	92,0	113,96	27,56	79	13	100,0	75,8
COM 0,25	4	90,0	114,00	27,71	80	13	92,3	75,7
COM 0,50	1	95,5	111,36	28,52	83	13	92,3	74,4
COM 0,50	2	97,0	108,79	27,42	79	13	100,0	74,8
COM 0,50	3	103,0	120,67	30,12	82	14	85,7	75,0
COM 0,50	4	92,5	118,45	29,45	79	15	93,3	75,1
COM 1,00	1	99,0	113,21	30,52	84	15	80,0	73,0
COM 1,00	2	92,5	109,16	26,96	80	14	92,9	75,3
COM 1,00	3	94,0	111,81	26,07	82	13	100,0	76,7
COM 1,00	4	87,0	102,61	25,88	81	13	92,3	74,8
COM 2,00	1	88,0	109,65	27,35	81	13	100,0	75,1
COM 2,00	2	90,5	117,75	27,74	81	13	100,0	76,4
COM 2,00	3	85,5	114,08	27,47	81	14	92,9	75,9
COM 2,00	4	66,0	91,20	21,38	84	15	53,3	76,6
VER 0,25	1	85,0	87,49	22,37	78	13	84,6	74,4
VER 0,25	2	84,5	112,66	28,16	77	14	92,9	75,0
VER 0,25	3	93,0	112,25	26,92	81	13	100,0	76,0
VER 0,25	4	92,0	101,74	25,25	84	13	61,5	75,2
VER 0,50	1	92,0	106,90	26,33	82	14	92,9	75,4
VER 0,50	2	93,5	98,44	24,75	82	13	92,3	74,9
VER 0,50	3	91,5	108,47	26,30	81	13	100,0	75,8
VER 0,50	4	91,5	98,54	23,90	82	13	92,3	75,8
VER 1,00	1	94,5	109,83	27,49	84	13	100,0	75,0
VER 1,00	2	85,0	107,64	28,83	80	13	84,6	73,2
VER 1,00	3	99,0	99,79	26,13	84	14	57,1	73,8
VER 1,00	4	95,5	94,25	24,12	82	13	76,9	74,4
VER 2,00	1	90,0	109,01	28,31	77	13	100,0	74,0
VER 2,00	2	95,5	98,23	25,71	83	14	85,7	73,8
VER 2,00	3	94,5	114,56	29,21	82	15	80,0	74,5
VER 2,00	4	91,0	109,14	28,29	81	14	92,9	74,1



## Cosecha 2

Tratamiento	Repet	Altura tallo cm	Peso fresco g	Peso seco g	Días inicio floración	Laterales	Apertura laterales %	Contenido humedad %
TESTIGO	1	63,5	40,72	12,52	66	9	100,00	69,25
TESTIGO	2	64,0	44,32	12,83	72	8	100,00	71,05
TESTIGO	3	71,0	55,12	15,35	78	10	90,00	72,15
TESTIGO	4	65,0	43,68	13,18	72	8	87,50	69,83
COM 0,25	1	67,0	43,71	13,06	69	9	88,89	70,12
COM 0,25	2	62,0	48,35	13,61	66	8	100,00	71,85
COM 0,25	3	71,5	49,87	13,63	78	8	100,00	72,67
COM 0,25	4	64,5	52,57	14,36	72	10	100,00	72,68
COM 0,50	1	76,5	56,43	14,28	78	10	80,00	74,69
COM 0,50	2	78,5	57,47	15,72	80	10	80,00	72,65
COM 0,50	3	83,5	55,24	15,25	78	11	90,91	72,39
COM 0,50	4	69,0	48,34	13,97	72	10	90,00	71,10
COM 1,00	1	61,0	56,37	14,15	78	11	63,64	74,90
COM 1,00	2	69,5	47,08	14,02	69	8	100,00	70,22
COM 1,00	3	77,0	56,98	15,37	69	10	90,00	73,03
COM 1,00	4	68,0	44,48	13,47	69	8	100,00	69,72
COM 2,00	1	70,0	47,02	13,98	69	10	100,00	70,27
COM 2,00	2	69,5	55,31	14,49	66	11	81,82	73,80
COM 2,00	3	65,5	46,33	13,85	75	10	90,00	70,11
COM 2,00	4	56,0	49,49	11,38	75	9	11,11	77,01
VER 0,25	1	67,0	61,19	15,55	69	9	88,89	74,59
VER 0,25	2	63,5	61,90	14,70	75	10	90,00	76,25
VER 0,25	3							
VER 0,25	4	74,0	55,47	14,38	72	10	100,00	74,08
VER 0,50	1	72,0	49,33	13,98	66	11	100,00	71,66
VER 0,50	2	74,5	54,68	15,30	69	11	81,82	72,02
VER 0,50	3	73,0	51,60	14,74	72	9	88,89	71,43
VER 0,50	4	67,5	51,64	14,15	72	8	87,50	72,60
VER 1,00	1	73,0	59,15	14,16	78	11	81,82	76,06
VER 1,00	2	77,0	59,96	15,54	72	11	100,00	74,08
VER 1,00	3	69,0	51,69	14,07	72	7	85,71	72,78
VER 1,00	4	67,0	55,83	14,35	82	7	57,14	74,30
VER 2,00	1	69,0	57,83	14,65	75	10	80,00	74,67
VER 2,00	2	71,5	58,91	15,78	72	11	81,82	73,21
VER 2,00	3	71,5	50,89	14,77	66	10	90,00	70,98
VER 2,00	4	66,0	51,54	15,46	69	9	100,00	70,00

### Cosecha 3

Tratamiento	Repet	Altura tallo cm	Peso fresco g	Peso seco g	Días inicio floración	Laterales	Apertura laterales %	Contenido humedad %
TESTIGO	1	55,5	55,21	12,23	70	8	50,0	77,9
TESTIGO	2	58,0	49,85	11,18	56	7	71,4	77,6
TESTIGO	3	66,0	57,41	13,50	61	9	55,6	76,5
TESTIGO	4	54,5	52,10	12,50	56	9	66,7	76,0
COM 0,25	1	56,5	44,71	9,91	59	7	71,4	77,8
COM 0,25	2	65,5	52,80	10,95	71	8	62,5	79,3
COM 0,25	3	57,0	44,07	10,22	60	9	55,6	76,8
COM 0,25	4	58,0	57,84	13,61	63	8	75,0	76,5
COM 0,50	1	68,5	67,98	16,24	64	8	87,5	76,1
COM 0,50	2	56,5	49,23	11,33	62	8	50,0	77,0
COM 0,50	3							
COM 0,50	4	55,5	53,78	11,95	59	8	62,5	77,8
COM 1,00	1	61,5	68,48	15,65	68	9	66,7	77,2
COM 1,00	2	57,5	52,06	11,45	56	6	66,7	78,0
COM 1,00	3	73,0	61,83	13,62	68	8	62,5	78,0
COM 1,00	4	58,0	48,85	11,79	56	7	85,7	75,9
COM 2,00	1	66,0	61,37	13,88	61	9	44,4	77,4
COM 2,00	2	63,0	55,39	12,20	60	8	62,5	78,0
COM 2,00	3	58,5	59,68	13,22	56	8	62,5	77,9
COM 2,00	4	59,0	58,30	13,61	71	9	66,7	76,7
VER 0,25	1	63,0	56,40	12,74	59	8	62,5	77,4
VER 0,25	2	58,0	56,99	13,15	59	7	71,4	76,9
VER 0,25	3	61,0	50,53	11,23	61	8	62,5	77,8
VER 0,25	4	65,0	56,44	12,77	59	7	85,7	77,4
VER 0,50	1	63,0	60,06	13,01	68	7	85,7	78,3
VER 0,50	2	66,5	54,63	13,23	56	8	87,5	75,8
VER 0,50	3	62,0	58,59	13,50	56	8	75,0	77,0
VER 0,50	4	60,5	57,76	13,15	57	8	87,5	77,2
VER 1,00	1	58,5	65,03	15,33	64	7	71,4	76,4
VER 1,00	2							
VER 1,00	3	59,0	55,33	12,82	60	7	85,7	76,8
VER 1,00	4							
VER 2,00	1	54,0	54,95	12,17	59	7	85,7	77,9
VER 2,00	2	62,5	49,98	11,15	61	7	85,7	77,7
VER 2,00	3	61,5	61,38	13,62	59	8	62,5	77,8
VER 2,00	4	59,5	57,94	13,29	61	7	85,7	77,1

**ANEXO 5: Datos climáticos del Observatorio Meteorológica Alexander Von Humboldt periodo del ensayo de dosis creciente de enmiendas orgánicas**



JACINTO VAZQUEZ VAZQUEZ  
AGOSTO - 2016

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp. Maxima (°C)	Temp. Minima (°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	2.9	21.5	13.2	85
2	0.0	18.6	13.7	90
3	0.0	19.0	14.3	84
4	0.0	18.5	13.8	88
5	0.0	20.0	14.8	84
6	0.0	18.9	14.6	88
7	0.0	18.8	14.8	90
8	0.0	18.7	14.4	88
9	0.0	20.6	14.2	86
10	1.9	20.4	13.1	87
11	0.0	19.6	12.0	89
12	0.0	19.1	14.2	90
13	3.2	20.5	15.1	84
14	4.4	20.6	14.4	81
15	0.0	17.3	14.6	91
16	0.0	19.0	13.5	90
17	5.5	21.0	14.8	86
18	4.4	22.0	14.2	86
19	0.0	17.0	14.7	93
20	0.0	16.0	14.3	97
21	5.0	21.8	13.4	88
22	6.4	22.3	13.6	89
23	1.7	19.8	15.2	93
24	0.0	19.8	14.9	90
25	5.4	21.6	15.2	89
26	0.0	19.5	14.6	91
27	0.5	20.5	13.6	95
28	4.5	23.6	12.4	85
29	3.4	21.8	12.6	89
30	0.0	16.6	14.6	96
31	0.0	19.8	14.5	95

SET - 2016

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp. Maxima (°C)	Temp. Minima (°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	0.0	17.8	14.4	95
2	3.4	22.0	14.3	93
3	4.3	21.4	14.5	90
4	0.0	18.6	14.7	94
5	0.0	20	14.6	92
6	3.8	20.4	14.1	90
7	6.3	21.8	14.8	86
8	2.6	20.1	14.2	85
9	5.7	21.2	14.4	85
10	7.4	22.4	14.8	82
11	0.4	22.7	14.9	79
12	0.0	17.4	14.0	89
13	2.2	21.3	14.8	87
14	6.1	22.7	14.5	84
15	0.0	19.5	14.2	87
16	0.0	20.8	15.1	90
17	5.8	24	15.3	85
18	9.0	24.6	12.8	84
19	7.1	24.8	15.2	84
20	6.8	22.3	15.0	85
21	3.1	20.8	15.2	88
22	6.3	22.3	15.3	82
23	4.6	21.3	15.9	85
24	5.7	23.3	15.3	85
25	0.0	18.0	15.5	93
26	7.2	23.0	15.0	84
27	5.0	21.8	14.9	83
28	5.9	23.4	15.4	84
29	0.0	19.2	15.4	86
30	0.0	20.4	15.0	85
31				

OCT - 2016

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp. Maxima (°C)	Temp. Minima (°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	3.3	21.4	15.2	85
2	3.1	22.4	15.6	87
3	2.3	21.4	15.7	86
4	0.0	20.6	15.3	88
5	0.0	19.7	14.7	88
6	4.1	22.3	15.4	83
7	7.0	22.9	13.2	79
8	4.3	22.1	13.6	80
9	7.1	23.4	15.6	82
10	8.2	24.8	14.2	78
11	8.7	23.2	15.3	79
12	8.8	23.8	15.2	81
13	4.2	22.8	16.1	83
14	8.0	23.8	14.1	80
15	0.0	20.3	13.2	88
16	5.2	23	15.4	82
17	4.9	23.6	13.6	81
18	7.1	24.5	16.1	79
19	7.4	24.2	16.2	79
20	6.8	25.4	15.0	83
21	3.2	22.3	16.0	85
22	6.3	22.9	14.9	76
23	0.0	19.9	15.7	85
24	2.3	22.8	15.4	81
25	2.1	22.2	15.6	81
26	3.6	23.3	15.2	82
27	0.0	21	14.7	87
28	2.6	22.6	15.6	81
29	4.9	23	15.5	86
30	7.0	23.4	16.2	80
31	5.0	23.8	16.4	78

JACINTO VAZQUEZ VAZQUEZ

NOV - 2016

DIA	Heliofania (horas decim.)	Temp. Maxima(°C)	Temp. Minima(°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	7.0	22.8	13.1	81
2	7.7	23.4	11.6	80
3	7.7	27.3	12.0	79
4	6.1	24.9	13.6	79
5	0.8	23.2	15.0	78
6	0.0	20.4	15.9	85
7	0.1	25.5	15.0	71
8	10.4	25.3	13.5	77
9	9.0	25.7	14.9	80
10	8.4	25.8	15.2	76
11	5.5	24.6	16.7	80
12	9.0	25.6	14.6	75
13	8.5	25.0	14.5	78
14	8.0	26.2	17.7	78
15	3.4	24.0	18.1	79
16	8.5	25.2	15.0	76
17	8.8	26.3	13.7	81
18	8.9	26.4	14.2	72
19	9.3	25.4	13.9	74
20	8.8	24.8	15.4	72
21	9.8	26.5	14.9	68
22	9.9	25.8	14.2	76
23	10.3	26.2	14.2	72
24	9.1	25.4	13.4	79
25	10.0	25.8	15.5	72
26	8.9	26.2	16.0	76
27	8.0	26.1	16.2	84
28	9.5	26.2	15.7	77
29	9.7	27.0	15.2	75
30	10.7	26.5	15.6	75
31				

DIC - 2016

DIA	Heliofania (horas decim.)	Temp. Maxima(°C)	Temp. Minima(°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	2.9	26.1	15.8	79
2	5.4	25.5	16.0	78
3	5.1	27.0	17.8	74
4	9.9	27.3	16.9	75
5	10.2	28.3	16.1	76
6	1.7	26.7	17.0	86
7	7.2	27.4	16.6	78
8	6.2	26.4	17.3	81
9	8.2	27.4	18.0	74
10	8.5	27.2	17.2	78
11	8.8	27.4	17.3	77
12	9.7	26.6	15.5	79
13	8.3	24.8	16.2	77
14	10.6	27.2	15.2	75
15	0.0	23.7	17.6	84
16	8.2	27.1	16.1	77
17	7.3	27.6	17.5	72
18	7.6	27.2	18.7	73
19	8.2	27.2	19.0	74
20	8.3	27.2	17.0	74
21	3.0	27.2	17.0	78
22	1.2	26.8	18.0	77
23	9.0	28.4	18.0	70
24	9.5	28.3	18.2	77
25	8.9	27.9	18.0	74
26	8.2	28.6	18.2	77
27	8.6	28.6	19.2	72
28	4.9	29.3	18.5	74
29	5.9	29.2	18.8	72
30	4.3	29.3	18.6	72
31	3.0	29.4	18.9	69



JACINTO VAZQUEZ VAZQUEZ  
ENE - 2017

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp.Maxi ma(°C)	Temp.Mini ma(°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	6.9	30.4	19.4	69
2	7.0	27.9	18.8	78
3	7.3	29.7	18.5	73
4	3.2	26.7	18.8	78
5	3.2	29.6	19.2	68
6	7.0	31.8	21.0	61
7	8.5	31.6	20.3	66
8	3.0	26.8	18.3	80
9	2.1	30.0	19.3	68
10	5.1	31.0	20.2	67
11	5.5	30.6	21.0	70
12	7.5	30.2	20.5	74
13	5.3	29.1	20.0	75
14	0.6	28.6	20.8	79
15	0.0	30.0	21.7	71
16	3.1	31.6	22.1	69
17	5.0	29.4	20.8	74
18	4.5	31.4	22.4	77
19	3.3	30.2	21.4	77
20	0.8	29.4	22.4	77
21	1.0	30.0	22.8	77
22	6.4	32.1	22.4	70
23	0.0	28.9	23.9	81
24	0.0	26.9	22.2	84
25	3.0	31.5	22.3	74
26	6.0	31.4	22.5	71
27	2.8	31.8	23.4	72
28	9.2	31.4	24.1	66
29	4.5	31.7	23.8	68
30	3.7	32.7	23.0	68

FEBRERO 2017

DIA	Heliofania (horas decim.)	Temp.Maxima (°C)	Temp.Minima (°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	6.1	33.0	23.0	70
2	9.2	31.0	22.4	69
3	3.9	31.2	22.5	74
4	3.5	32.2	21.7	76
5	5.5	31.2	22.0	77
6	6.8	30.0	21.4	74
7	5.7	30.4	20.6	77
8	5.8	30.6	21.5	71
9	5.3	31.4	20.8	69
10	2.8	30.6	21.1	71
11	3.0	31.8	22.4	63
12	6.2	31.6	21.5	67
13	1.8	31.2	21.4	68
14	5.4	31.8	21.7	67
15	9.0	31.7	21.0	62
16	2.6	32.6	21.9	67
17	1.2	31.6	22.2	70
18	6.8	31.0	22.0	74
19	7.4	32.1	20.5	72
20	8.7	31.6	20.5	66
21	2.0	31.0	20.9	73
22	7.5	32.2	21.0	70
23	3.8	31.8	20.1	72
24	8.0	31.6	20.1	70
25	6.0	32.0	21.0	70
26	4.6	32.2	21.0	65
27	5.1	32.4	23.0	68
28	7.0	32.2	23.2	74
29				
30				

MAR - 2017

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp.Maxi ma(°C)	Temp.Mini ma(°c)	Humedad Relativa Prom (%)
1	5.5	31.4	22.8	79
2	9.5	31.8	22.9	74
3	6.5	32.4	22.2	71
4	8.2	32.0	22.1	71
5	9.2	31.7	21.2	74
6	3.5	32.1	22.3	73
7	5.5	32.0	21.5	67
8	0.5	29.5	21.1	75
9	6.5	32.4	22.0	68
10	2.4	32.2	22.5	74
11	7.0	31.3	21.6	79
12	9.3	32.3	21.6	74
13	9.7	31.9	23.0	73
14	1.0	29.4	23.0	78
15	4.2	31.0	22.7	79
16	7.7	31.9	23.4	74
17	6.7	31.8	22.5	74
18	9.0	31.2	21.2	72
19	8.2	31.0	21.8	75
20	4.6	31.4	22.0	76
21	8.2	31.9	21.4	73
22	6.7		22.0	76
23	3.7	32.2	21.7	71
24	7.8	31.2	21.1	72
25	3.0	31.2	20.5	69
26	3.4	30.2	21.0	75
27	5.1	31.6	21.8	71
28	5.3	31.0	22.0	71
29	8.8	29.4	20.2	77
30	6.1	29.8	20.0	79





JACINTO VAZQUEZ VAZQUEZ  
ABRIL - 2017

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp. Maxima (°C)	Temp. Minima (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	7.0	29.5	21.4	77
2	6.2	28.8	19.1	77
3	6.3	29.3	19.8	79
4	7.0	30.0	19.2	75
5	7.5	30.0	19.0	76
6	0.3	28.8	19.1	78
7	9.0	30.5	19.1	68
8	7.0	30.8	14.6	70
9	8.1	30.0	18.9	74
10	7.9	30.5	21.0	73
11	7.3	28.9	19.0	79
12	9.2	29.8	18.7	75
13	9.1	29.4	19.0	76
14	9.2	28.8	18.9	77
15	9.0	29.4	18.5	76
16	6.2	27.7	18.4	80
17	8.5	27.4	18.2	77
18	9.2	30.4	17.0	76
19	5.7	30.2	20.0	77
20	9.1	30.0	18.7	76
21	5.4	29.0	18.6	81
22	7.7	29.9	18.5	81
23	5.3	27.0	19.4	88
24	1.1	24.9	18.7	89
25	0.0	27.8	19.5	75
26	9.2	28.3	17.5	80
27	9.0	27.4	18.0	80
28	7.2	26.6	18.2	85
29	0.0	20.4	18.0	94
30	0.0	21.3	18.0	92

MAY - 2017

DIA	Heliofania (horas y decim.)	Temp. Maxima (°C)	Temp. Minima (°C)	Humedad Relativa Prom (%)
1	4.7	25.9	18.2	85
2	0.0	23.8	17.9	90
3	3.0	27.0	17.8	87
4	7.9	25.8	17.0	86
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ANEXO 6: Datos del ensayo respuesta del suelo a dosis crecientes de P y K**

<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Peso fresco follaje g</b>	<b>Peso fresco raíz g</b>	<b>Peso fresco planta g</b>	<b>Peso seco follaje g</b>	<b>Peso seco raíz g</b>	<b>Peso seco planta g</b>	<b>Altura plantas cm</b>	<b>Contenido humedad %</b>
P0	K0	20,07	20,43	40,50	2,51	2,69	5,20	42,7	87,2
P0	K0	21,24	14,70	35,94	2,97	1,74	4,71	45,3	86,9
P0	K0	19,98	17,78	37,76	2,79	2,26	5,05	40,8	86,6
P0	K0	17,97	11,30	29,27	2,18	1,36	3,54	42,8	87,9
P0	K200	17,73	15,27	33,00	2,50	2,07	4,57	39,7	86,2
P0	K200	18,40	13,88	32,28	2,42	2,08	4,50	41,0	86,1
P0	K200	20,36	13,74	34,10	2,62	1,83	4,45	41,3	87,0
P0	K200	25,13	11,36	36,49	3,50	1,90	5,40	45,7	85,2
P50	K0	25,22	15,81	41,03	3,35	2,43	5,78	41,3	85,9
P50	K0	21,92	16,49	38,41	3,31	2,54	5,85	46,7	84,8
P50	K0	20,59	11,02	31,61	2,92	1,71	4,63	45,7	85,4
P50	K0	20,13	11,59	31,72	2,77	1,88	4,65	42,0	85,3
P50	K200	22,80	19,28	42,08	3,16	2,58	5,74	40,0	86,4
P50	K200	19,40	13,98	33,38	2,45	1,87	4,32	42,3	87,1
P50	K200	21,01	11,10	32,11	2,64	1,75	4,39	46,0	86,3
P50	K200	24,84	16,06	40,90	3,50	2,15	5,65	45,3	86,2
P100	K0	20,49	18,24	38,73	2,91	2,54	5,45	44,3	85,9
P100	K0	28,39	19,61	48,00	4,07	2,84	6,91	48,0	85,6
P100	K0	24,64	13,85	38,49	3,47	2,06	5,53	45,0	85,6
P100	K0	17,75	9,81	27,56	2,48	1,81	4,29	39,7	84,4
P100	K200	22,71	19,99	42,70	3,69	2,71	6,40	41,3	85,0
P100	K200	26,80	21,38	48,18	4,01	2,97	6,98	45,3	85,5
P100	K200	23,67	15,61	39,28	3,21	1,82	5,03	48,0	87,2
P100	K200	23,31	19,17	42,48	2,85	2,33	5,18	45,0	87,8
P200	K0	30,41	22,56	52,97	4,36	3,53	7,89	49,0	85,1
P200	K0	25,83	20,58	46,41	3,75	3,29	7,04	46,7	84,8
P200	K0	30,61	23,60	54,21	4,46	3,17	7,63	49,3	85,9
P200	K0	28,58	20,17	48,75	4,14	2,68	6,82	50,0	86,0
P200	K200	31,75	25,13	56,88	4,57	4,22	8,79	45,0	84,6
P200	K200	31,13	21,73	52,86	4,47	4,81	9,28	47,3	82,4
P200	K200	17,84	8,30	26,14	2,64	1,58	4,22	43,0	83,9
P200	K200	30,38	18,26	48,64	4,48	3,90	8,38	49,0	82,8

**ANEXO 7: Datos del ensayo respuesta del suelo a fuentes y dosis de enmiendas y dosis de P**

<b>Enmienda</b>	<b>P</b>	<b>Días a la cosecha</b>	<b>Altura tallo cm</b>	<b>Laterales</b>	<b>Peso húmedo g</b>	<b>Peso seco g</b>	<b>Contenido humedad %</b>
COM,75	P0	134	48,0	5	28,41	6,14	78,39
COM,75	P0	131	67,6	6	38,35	8,90	76,79
COM,75	P0	119	50,3	8	35,35	8,87	74,91
COM,75	P0	134	43,0	5	28,01	6,11	78,19
COM,75	P200	133	54,5	6	34,91	7,76	77,77
COM,75	P200	133	52,1	8	39,42	8,75	77,80
COM,75	P200	95	47,0	7	36,20	7,60	79,01
COM,75	P200	119	53,2	6	42,07	9,01	78,58
COM,75	P400	134	51,8	7	46,81	10,23	78,15
COM,75	P400	119	53,0	7	42,35	9,32	77,99
COM,75	P400	106	46,3	8	39,07	7,72	80,24
COM,75	P400	134	49,0	5	39,07	7,64	80,45
COM1,5	P0	133	47,4	6	35,75	7,94	77,79
COM1,5	P0	133	55,1	5	39,87	8,82	77,88
COM1,5	P0	134	56,0	6	37,89	8,50	77,57
COM1,5	P0	125	48,7	5	40,29	8,78	78,21
COM1,5	P200	119	68,3	6	50,64	11,47	77,35
COM1,5	P200	119	63,7	8	47,84	10,27	78,53
COM1,5	P200	0	0,0	0	0,00	0,00	0,00
COM1,5	P200	116	51,6	6	41,97	9,28	77,89
COM1,5	P400	116	57,1	6	35,26	8,92	74,70
COM1,5	P400	104	52,4	6	37,12	7,78	79,04
COM1,5	P400	90	52,0	6	31,28	6,91	77,91
COM1,5	P400	96	50,0	6	35,41	7,33	79,30
VER,75	P0	106	48,5	8	40,38	8,12	79,89
VER,75	P0	95	49,0	6	34,64	6,98	79,85
VER,75	P0	130	68,5	7	60,29	13,84	77,04
VER,75	P0	97	42,0	6	31,66	6,44	79,66
VER,75	P200	109	61,1	6	41,75	9,38	77,53
VER,75	P200	97	59,2	6	38,69	8,29	78,57
VER,75	P200	104	41,8	8	45,09	9,11	79,80
VER,75	P200	95	54,0	7	35,57	7,91	77,76
VER,75	P400	109	46,2	6	42,96	9,18	78,63
VER,75	P400	130	51,1	7	41,97	9,81	76,63
VER,75	P400	109	50,1	6	37,70	8,68	76,98
VER,75	P400	97	45,0	4	35,63	7,37	79,32
VER1,5	P0	109	53,3	7	40,65	9,30	77,12
VER1,5	P0	119	61,4	8	46,52	10,30	77,86
VER1,5	P0	130	54,3	8	44,72	10,20	77,19
VER1,5	P0	119	51,5	7	40,03	9,53	76,19



<b>Enmienda</b>	<b>P</b>	<b>Días a la cosecha</b>	<b>Altura tallo cm</b>	<b>Laterales</b>	<b>Peso húmedo g</b>	<b>Peso seco g</b>	<b>Contenido humedad %</b>
VER1,5	P200	104	52,3	5	39,72	8,11	79,58
VER1,5	P200	96	51,0	6	39,15	7,94	79,72
VER1,5	P200	104	54,6	8	46,07	9,85	78,62
VER1,5	P200	122	69,3	8	51,11	12,14	76,25
VER1,5	P400	109	46,0	6	36,51	7,68	78,96
VER1,5	P400	97	49,0	6	34,69	7,37	78,75
VER1,5	P400	106	56,2	8	50,07	9,90	80,23
VER1,5	P400	109	51,5	6	39,53	9,32	76,42