

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO BIOQUÍMICO

QUE PRESENTA:

JOSÉ DE JESÚS PÉREZ GÓMEZ

CON EL TEMA:

**“CULTIVO ORGÁNICO DE PLANTAS DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) SOMETIDAS A
ESTRÉS SALINO”**

MEDIANTE:

**OPCION I
(TESIS PROFESIONAL)**

ÍNDICE GENERAL

1.- INTRODUCCIÓN	9
2.- ANTECEDENTES	11
2.1.- PAPA (<i>SOLANUM TUBEROSUM L.</i>)	11
2.1.1 COMPONENTES NUTRIMENTALES	12
2.1.2 COMPONENTES NO NUTRIMENTALES	14
2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	14
2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO	18
2.2 VERMICOMPOSTA Y LIXIVIADO DE VERMICOMPOSTA	22
2.2.1 VERMICOMPOSTA	22
2.2.2 LIXIVIADO DE VERMICOMPOSTA	24
2.3 ESTRÉS SALINO	27
2.3.1 ESTRÉS IÓNICO	31
2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS TUBÉRCULOS DE PAPA	39
2.4.1 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN ALIMENTOS	39
2.4.2 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES	40
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1 OBTENCIÓN DEL MATERIAL VEGETATIVO	42
3.2 OBTENCIÓN DE LIXIVIADO DE VERMICOMPOSTA Y VERMICOMPOSTA	42
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	43
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	44
3.5 METODOLOGÍA	46
3.5.1 PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	46
3.5.2 GRADOS BRUX	46
3.5.3 SÓLIDOS TOTALES	46
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	47
3.7 RESULTADOS	47
3.7.1 PH	47
3.7.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	53
3.7.3 GRADO BRUX	57
3.7.4 SÓLIDOS TOTALES	61
3.7.5 PESO FRESCO DE TUBÉRCULOS DE PAPA	65
3.7.6 PESO SECO DEL TUBÉRCULO DE PAPA (TUBÉRCULOS DESHIDRATADOS)	69
3.7.7 ALTURA DE PLANTA DE PAPA	73
3.7.8 DIÁMETRO DEL TALLO	77

3.7.9 PESO FRESCO DE LA PLANTA DE PAPA	81
3.7.10 PESO SECO DE LA PLANTA DE PAPA	85
3.7.11 PESO DE LOS TUBÉRCULOS DE PAPA	89
4. DISCUSIÓN	93
4.1 PH	93
4.2 GRADOS BRIX	93
4.3 ALTURA DE LA PLANTA	94
4.4 PESO DE TUBÉRCULOS DE PAPA	94
6 CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1.- Aparte nutrimental de papa fresca	12
Cuadro 2.- Diseño Experimental	43
Cuadro 3.- Efectos estimados y Error estándar	47
Cuadro 4.- Análisis de varianza de pH	49
Cuadro 5.- Valores para optimizar respuesta minimizando pH	50
Cuadro 6.- Efectos estimados para Conductividad Eléctrica	53
Cuadro 7.- Análisis de varianza para Conductividad Eléctrica	54
Cuadro 8.- Efectos estimados para Grados Brix	57
Cuadro 9.- Análisis de varianza para Grados Brix	58
Cuadro 10.- Efectos estimados para Grados Brix	61
Cuadro 11.- Análisis de varianza para Sólidos Totales	62
Cuadro 12.- Efectos estimados para Peso Fresco de papa	65
Cuadro 13.- Análisis de varianza para Peso Fresco de papa	66
Cuadro 14.- Efectos estimados para Peso Seco de tubérculos de papa	69
Cuadro 15.- Análisis de varianza para Peso Seco de tubérculos	70
Cuadro 16.- Efectos estimados para altura de planta de papa	73
Cuadro 17.- Análisis de varianza para altura de planta de papa	74
Cuadro 18.- Efectos estimados para diámetro del tallo	77
Cuadro 19.- Análisis de varianza para diámetro del tallo	78
Cuadro 20.- Datos estimados para Peso Fresco de la planta	81
Cuadro 21.- Análisis de varianza para Peso Fresco de la planta	82
Cuadro 22.- Efectos estimados para Peso Seco de la planta	85
Cuadro 23.- Análisis de varianza para Peso Seco de la planta	86

Cuadro 24.- Efectos estimados para Peso de las papas	89
Cuadro 25.- Análisis de varianza para Peso de las papas	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Partes de la planta de papa	16
Figura 2.- Modelo que explica los efectos iónicos y celulares implicados en el estrés salino en las plantas, así como los mecanismos que median la tolerancia	32
Figura 3.- Modelo de la señalización mediada por ABA y especies reactivas de oxígeno ante estrés por deshidratación causado por la salinidad y los mecanismo de defensa activados en la célula	38
Figura 4.- Lugar donde se realizó el proyecto de cultivos de papa	44
Figura 5.- Distribución de las plantas de papa que se usaron para el experimento	45
Figura 6.- Diagrama de Pareto que muestra el comportamiento del pH	48
Figura 7.- Comportamiento de la relación lixiviado-pH	51
Figura 8.- Superficie de Respuesta Estimada para pH	52
Figura 9.- Diagrama de Pareto para Conductividad Eléctrica	55
Figura 10.- Superficie de Respuesta Estimada para Conductividad Eléctrica	56
Figura 11.- Diagrama de Pareto	59
Figura 12.- Superficie de Respuesta Estimada de Grados Brix	60
Figura 13.- Diagrama de Pareto para Sólidos Totales	63
Figura 14.- Superficie de Respuesta Estimada para Sólidos Totales	64
Figura 15.- Diagrama para peso fresco de tubérculos de papa	67
Figura 16.- Superficie de Respuesta Estimada de Peso Fresco de papa	68
Figura 17.- Diagrama de Pareto para Peso Seco de tubérculos de papa	71
Figura 18.- Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa	72
Figura 19.- Diagrama de Pareto para altura de la planta de papa	75
Figura 20.- Superficie de Respuesta Estimada para altura de la planta de papa	76
Figura 21.- Diagrama de Pareto para diámetro del tallo	79
Figura 22.- Superficie de Respuesta Estimada para el Diámetro del tallo	80

Figura 23.- Diagrama de Pareto para Peso Fresco de la planta	83
Figura 24.- Superficie de Respuesta Estimada para el Peso Fresco de la planta	84
Figura 25.- Diagrama de Pareto para Peso Seco de la planta	87
Figura 26.- Superficie de Respuesta Estimada para el Peso Seco de la planta	88
Figura 27.- Diagrama de Pareto para Peso de Tubérculos de papa	91
Figura 28.- Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa	92

RESUMEN

Como un cultivo alternativo y viable para la sustitución de abonos inorgánicos por abonos orgánicos, se planteó la realización del presente trabajo donde se cultivaron plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el invernadero para evaluar la respuesta del cultivo sometidos a un estrés salino. El tiempo de desarrollo de los tubérculos de papa (semillas) fue de Enero a Junio y la siembra se hizo terminando ese periodo en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. El marco de plantación fue de tres hileras (20 cm entre hileras) de 15 plantíos por hilera. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: Lixiviado de vermicomposta, vermicomposta y estrés salino. Las aplicaciones se efectuaron al momento de la siembra. El cultivo duró de Junio a Noviembre del 2014, se realizó la cosecha la primera semana de Diciembre del 2014. Se evaluó el efecto de la vermicomposta y lixiviado de vermicomposta sobre el crecimiento de las plantas de papa.

En éste estudio se observó el efecto que tiene la vermicomposta sobre el suelo del cultivo, el cual funcionó como fuente de carbono y de nitrógeno para el crecimiento y desarrollo de la planta. El análisis de varianza no mostró diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre tratamientos. Los niveles de NaCl no influyeron en la respuesta fenológica, productiva y características físico-químicas del cultivo de papa. Siendo que todos los tratamientos contrarrestaron el efecto del estrés salino y, de esta manera, obteniendo mayor desarrollo de la planta, mayor cantidad de tubérculos de papa y mayor producción peso de tubérculos de papa.

1.- INTRODUCCIÓN

Hoy en día la agricultura se ha vuelto dependiente de pesticidas, agroquímicos, fertilizantes sintéticos, el uso excesivo de maquinaria agrícola, etc., sin considerar que no es sustentable ya que genera una serie de problemas como: deterioro de suelos, pérdida de la biodiversidad, calentamiento global, por mencionar algunos de los muchos factores que afectan al medio ambiente. La agricultura ha sido de gran relevancia para la subsistencia del hombre pues, de ella, ha obtenido sus alimentos como lo son los cuatro principales alimentos de consumo básico en el mundo: trigo, maíz, arroz y papa (FAO, 2005).

La papa es un alimento de consumo básico, el cuarto de mayor ingesta en el mundo, que por sus características sensoriales, sabor y color neutro, puede ser parte de una alimentación saludable y variada. Se obtienen a partir de la planta solanácea (*Solanum tuberosum* L.), específicamente corresponde a los tubérculos formados por engrosamiento subterráneo. En la papa se encuentran componentes nutrimentales (almidón, macro y micronutrientes) y componentes no nutrimentales (agua, celulosa, hemicelulosa, pectina, entre otros). Luego de su cosecha, los tubérculos contienen en promedio 80% de agua y 20% de materia seca (60% de esta corresponde al almidón). Según artículos de la FAO (Food and Agriculture Organization), respecto a su peso en seco, el contenido de proteína de la papa es análogo al de los cereales, y es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos (FAO, 2008).

En busca de la sustentabilidad en los sistemas de producción primaria (agricultura, ganadería, forestería, pesca) se ha tratado de sustituir por diferentes vías el uso de agroquímicos por productos orgánicos considerando que son productos naturales, algunos son los derivados de la lombricultura (Hernández, 2002).

Adicionalmente como parte de la microfauna del suelo, las lombrices de tierra ingieren grandes cantidades de suelo, materia orgánica (MO) y residuos de hoja. En consecuencia, también las lombrices tienen un papel destacado sobre la descomposición de MO y la transformación de los elementos nutrimentales (Zhang *et al*, 2000). La descomposición de la MO del suelo es una fuente principal de elementos nutrimentales para la planta, especialmente en los ecosistemas con baja aplicación de insumos. En consecuencia, la disponibilidad de los elementos nutrimentales en el suelo depende principalmente del proceso de descomposición (Moreno, 2006).

Desde un punto de vista sustentable, la sustitución urgente de abonos inorgánicos por abonos orgánicos, es necesaria para devolver la fertilidad al suelo y otorgar mejores condiciones de producción a las plantas. Ahora, desde un punto de vista social, existen muchas irregularidades en el cultivo y cosecha de papa en los Altos de Chiapas, en especial la comunidad El Duraznal, donde riegan las plantas de papa con agua con alto contenido en sales, por falta de asesorías y buenas prácticas. Por lo anterior se realiza el siguiente estudio sobre plantíos de papas sometidas a un estrés salino. Es por eso que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la biofertilización con lixiviados de vermicomposta y vermicomposta sobre el crecimiento de la planta, producción y contenido de sólidos totales y azúcares reductores en los tubérculos de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) sometidas a estrés salino.

2.- ANTECEDENTES

2.1.- Papa (*Solanum tuberosum* L.)

La papa es un alimento de consumo básico, el cuarto de mayor ingesta en el mundo. Los tubérculos tienen tres partes principales: piel, cáscara y zona medular. Esta última, se constituye fundamentalmente de tejido parenquimatoso, reservorio por excelencia de almidón, y por ende, de energía (Pertuz, 2013).

En la papa se encuentran componentes nutrimentales (almidón, macro y micronutrientes) y componentes no nutrimentales (agua, celulosa, hemicelulosa, pectina, entre otros). Luego de su cosecha, los tubérculos contienen en promedio 80% de agua y 20% de materia seca (60% de esta corresponde al almidón). Según artículos de la FAO (Food and Agriculture Organization), respecto a su peso en seco, el contenido de proteína de la papa es menor al de los cereales, pero muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos (FAO, 2008).

Además, la papa tiene poca grasa. Las papas tienen abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C y en pequeñas cantidades vitaminas B1, B3 Y B6; otros minerales como hierro, en mayor cantidad que potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico y riboflavina. También contiene antioxidantes alimentarios, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento, y tiene fibra (cáscara), cuyo consumo es bueno para la salud del aparato digestivo (FAO, 2008).

La composición se puede modificar por factores tales como la variedad, la localidad donde se produce, el tipo de suelo, el clima y las condiciones de cultivo (Pertuz, 2013). Las enfermedades, las plagas, la duración de los ciclos productivos también afecta. De igual manera la composición se modifica con la preparación a nivel casero y con su procesamiento a nivel industrial.

2.1.1 Componentes nutrimentales

El aporte nutrimental (cuadro 1) de los tubérculos está dado por el contenido de macro y micronutrientes y por la biodisponibilidad de los mismos. Como argumenta Pertuz (2013), en promedio, 100 gramos de papa, la porción que consume un individuo adulto contiene:

Componente	FAO
Calorías (kcl)	87 kcl
Agua	77 g
Proteína	1.9 mg
Carbohidratos	20.1 g
Lípidos	0.10 g
Vitamina C	13 mg
Hierro	0.31 mg
Calcio	5 mg
Fósforo	44 mg

Cuadro 1.- Aporte nutrimental de papa fresca

Energía

Tradicionalmente se ha reconocido que los tubérculos cumplen un rol energético en la alimentación gracias a su componente mayoritario en materia seca corresponde al almidón. A pesar de ello, comparado con alimentos equivalente tales como el plátano y la yuca, (Pertuz, 2013) su aporte calórico es menor y se le considera de baja densidad calórica.

Carbohidratos

La papa (Pertuz, 2013) es un alimento que contiene cantidades importantes de carbohidratos los cuales se encuentran mayoritariamente como almidón y un pequeño porcentaje como azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa).

Proteína

La proteína de este alimento sobresale por un alto contenido de lisina y bajos contenidos de aminoácidos azufrados. El contenido de proteína de la papa, aunque inferior al aportado por alimentos de origen animal, es superior al aportado por la mayoría de los cereales, tubérculos y raíces. La calidad de la proteína es inferior por la presencia de glucoalcaloides y de inhibidores de las proteinasas (Peruz, 2013).

Grasa

El contenido de grasa de las papas es muy bajo lo cual constituye una ventaja para individuos con restricciones de calorías y/o de grasas (Pertuz, 2013).

Vitamina

Los tubérculos aunque contienen vitaminas, no son considerados alimentos fuente de estos nutrimentos. Las vitaminas que se encuentran en el tubérculo son el ácido ascórbico, B1, B6 y niacina, Se concentran principalmente en la piel y en la cáscara. La vitamina C sobresale por su alta reactividad y por las altas pérdidas por oxidación (Pertuz, 2013).

Minerales

El contenido de minerales en el tubérculo depende directamente de la naturaleza del suelo donde es cultivado, por tal razón el contenido de minerales es variable. Sobre salen los altos aportes de potasio, fósforo y el bajo contenido de ácido fítico y de sodio (Pertuz, 2013).

2.1.2 Componentes no nutrimentales

Pertuz (2013), en su redacción, incluyen los siguientes componentes no nutrimentales:

Fibra

En la cáscara o piel, los tubérculos tienen pectina en forma de pectatos solubles de calcio que favorecen a la adhesión a la médula, celulosa, lignina y hemicelulosas.

Enzimas

La papa contiene las siguientes enzimas endógenas; fosforilasas, polifenoloxidasas, lipooxigenasas.

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos contribuyen con el pH característico del alimento: pH de 5.6 – 6.2 (FAO, 2008). Los más representativos son el málico, el cítrico y el clorogénico que reacciona con iones de hierro.

Flavonoides y antocianinas

Estos compuestos son objeto de investigación actual por cuanto son asociados como posibles antioxidantes de la dieta. Se han evidenciado algunos comportamientos antioxidantes en variedades cuya piel es de color rojo violeta (Pertuz, 2013).

2.1.3 Descripción botánica

Género: *Solanum*

Familia: Solanáceas

Especie: *Solanum tuberosum*

Como lo describe Villafuerte (2008), perteneciente a la familia Solanácea, cuyo nombre científico es *Solanum tuberosum*. Es una planta

herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos.

-Raíces

Son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. Las raíces tienen un débil poder de penetración y sólo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido.

-Tallo

Son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo, al principio erguidos y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en la yerma del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.3 y 1 metro. Son de color verde pardo debido a los pigmentos antociámicos asociados a la clorofila, estando presentes en todo el tallo.

-Rizomas

Son tallos subterráneos de los que surgen las raíces adventicias. Los rizomas producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados.

-Tubérculos

Son los órganos comestibles de la papa. Están formados por tejido parenquimático, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilas del tubérculo se sitúan las yemas de crecimiento llamadas “ojos”, dispuestas en espiral sobre la superficie del tubérculo.

-Hojas

Son compuestas, imparipinnadas y con folíolos primarios, secundarios e intercalares. La nerviación de las hojas es reticulada, con una densidad mayor en los nervios y en los bordes del limbo.

-Inflorescencias

Son cimosas, están situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral. Es una planta autógama, siendo su androesterilidad muy frecuente, a causa del aborto de los estambres o del polen según las condiciones climáticas. Las flores tienen la corola rotácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc.

-Frutos

En forma de baya redondeada de color verde 1 a 3 cm de diámetro, que se tornan amarillos al madurar.

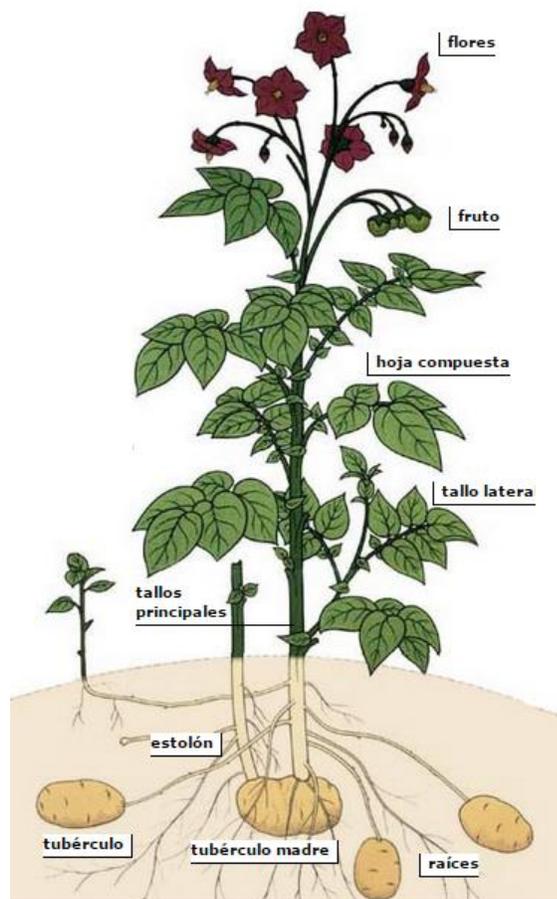


Figura 1.- Partes de la planta de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta herbácea anual cuyo tamaño varía de 0.30 a 1 m de alto, según las variedades, con un crecimiento erecto o semierecto. Con tan abundante contenido de almidón ocupa el

cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz. La papa pertenece a la familia de floríferas de las solanáceas, del género *Solanum tuberosum*, formado por otras mil especies por lo menos, como el tomate y la berenjena. La *S. tuberosum* se divide en dos subespecies apenas diferentes: la *andigena* adaptada a condiciones de días breves, cultivada principalmente en los Andes, y *tuberosum*, la variedad que hoy se cultiva en todo el mundo y se piensa que descende de una pequeña introducción en Europa de papas andigena, posteriormente adaptadas a días más prolongados (Villafuerte, 2008).

Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren a consecuencia un engrosamiento y así producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrimentos del suelo. El tubérculo puede tener formas y tamaños distintos, y por lo general pesa hasta 300 g (Villafuerte, 2008).

Al terminar el período de crecimiento, las hojas y tallos de la planta se marchitan y los tubérculos se desprenden de los estolones. A partir de este momento, los tubérculos funcionan como depósito de nutrimentos que permite a la planta subsistir en el frío y posteriormente reverdecer y reproducirse. Cada tubérculo tiene de 2 hasta 10 brotes laterales, distribuidos en espiral en toda la superficie (Villafuerte, 2008).

Las yemas u ojos del tubérculo maduro permanecen latentes (dormancia) hasta que desarrollan un estolón de donde se origina una nueva planta. Los almacenes de luz difusa ayudan a que los estolones no se desarrollen antes de la siembra (Villafuerte, 2008).

La flor es bisexual, es decir que tiene estambres (masculino) y pistilos (femenino). El fruto maduro es una baya generalmente de color verde oscuro

y contiene las semillas, denominadas botánicas, para diferenciarlas de la semilla tubérculo (Villafuerte, 2008).

2.1.4 Características de crecimiento

Villafuerte (2008) describe las características de crecimiento de la papa mediante los siguientes aspectos.

Temperatura

Se trata de una planta de clima templado-frío, siendo las temperaturas más favorables para su cultivo las que están en torno a 13°C y 18°C. Al efectuar la plantación la temperatura del suelo debe ser superior a los 7°C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas.

El frío excesivo perjudica especialmente a la papa, ya que los tubérculos quedan pequeños y sin desarrollar. Si la temperatura es demasiado elevada afecta a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades.

Humedad

La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta a la maduración del tubérculo resulta nociva. Una humedad ambiental excesivamente alta favorece el ataque de mildiu, por tanto esta circunstancia habrá que tenerla en cuenta.

Suelo

Es una planta poco exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactados y pedregosos, ya que los órganos subterráneos no pueden desarrollarse libremente al encontrar un obstáculo mecánico en el suelo.

La humedad del suelo debe ser suficiente; aunque resiste la aridez, en los terrenos secos las ramificaciones del rizoma se alargan demasiado, el número de tubérculos aumenta, pero su tamaño se reduce considerablemente. Los terrenos con excesiva humedad, afectan los tubérculos ya que se hacen demasiado acuosos, poco ricos en fécula y poco sabrosos y conservables.

Prefiere los suelos ligeros o semiligeros, silíceo-arcillosos, ricos en humus y con un subsuelo profundo. Soporta el pH ácido entre 5.5-6, ésta circunstancia se suele dar más en los terrenos arenosos. Es considerada como una planta tolerante a la salinidad.

Es importante que el suelo esté bien mullido, bien aireado, sin huecos y sin terrones y con los agregados homogéneos, con el objetivo de favorecer el desarrollo radicular, la emergencia rápida y homogénea y reducir los ataques de parásitos.

Se debe realizar primero una labor profunda (no deberá ser inferior a 25 cm.), incorporándose el abonado de fondo, seguida de una escarificado profundo, en la que se surca el terreno dejando una distancia de 0.5-0.7 m. La época de hacer estas labores dependerá de las características de la zona de cultivo y de la planta que preceda a la papa si hay una rotación de cultivos.

Luz

La luz tiene una incidencia directa sobre el fotoperíodo, ya que induce la tuberización. Los fotoperíodos cortos son más favorables a la tuberización y los largos inducen el crecimiento. Además de influir sobre el rendimiento final de la cosecha.

En las zonas de clima cálido se emplean cultivares con fotoperíodos críticos, comprendidos entre 13 y 16 horas. La intensidad luminosa además de fluir sobre la actividad fotosintética, favorece la floración y fructificación.

Época de plantación

La época de plantación varía de unas zonas a otras, resultando fundamental para el éxito del cultivo. Esta decisión se basa en el estado de humedad del suelo y en su contenido en agua. Es recomendable que la plantación sea precoz en el cultivo de variedades tardías con el fin de asegurar una buena tuberización. La profundidad de siembra deberá estar en torno a los 7-8 cm., profundidades mayores retardan la emergencia y profundidades superficiales incrementan el riesgo de enverdecimiento.

Abonado

La papa es una planta que agradece los beneficios del estercolado, ya que mejora las condiciones físicas del suelo, y por tanto el desarrollo de los tubérculos. Si la siembra se realiza en marzo se debe aportar estiércol en diciembre, pero si la siembra se realiza en verano no debe emplearse estiércol, por el peligro de pudrición de los tubérculos de siembra.

Las variedades tardías aprovechan mejor el estiércol que las tempranas. Los estiércoles de aves de corral deben ser empleados con precaución por su riqueza en nitrógeno, fósforo y potasio, pues existe el riesgo de excesiva fertilización.

-Nitrógeno: Es el factor determinante en el rendimiento del cultivo, ya que favorece el desarrollo de la parte aérea y la formación y engrosamiento de los tubérculos. Un exceso de nitrógeno produce un retraso en la tuberización y un desarrollo excesivo de la parte aérea.

-Fósforo: El fósforo actúa a favor del desarrollo de las raíces, mejorando la calidad de los tubérculos y reduciendo su sensibilidad a daños. La precocidad de la papa y el contenido en fécula están influenciados por el incremento de fósforo.

-Potasio: Su influencia es decisiva en el cultivo de la papa, ayuda a la formación de fécula y proporciona a las plantas una mayor resistencia

a las heladas, a la sequía y a las enfermedades, especialmente al mildiu, y hace que su conservación sea más fácil. Los calibres de los tubérculos se ven incrementados al aumentar las aportaciones potásicas, asegurando un mayor porcentaje de tubérculos grandes. Un exceso de abonado potásico puede bloquear al magnesio.

-Magnesio: La papa no tolera la deficiencia en magnesio y su carencia se manifiesta por un amarillamiento entre las nervaduras de las hojas y, en casos graves, por su muerte o agostamiento.

Riego

La papa es un cultivo muy exigente en agua, aunque un exceso reduce el porcentaje en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades. Desde la siembra, el estado hídrico del suelo tiene influencia sobre toda la evolución del cultivo.

Las alternancias de períodos secos y húmedos dan lugar a modificaciones en la velocidad de engrosamiento de los tubérculos, ya que son el origen de ciertos defectos como: grietas, surcos, estrechamientos, etc. Antes de la tuberización un ligero déficit hídrico favorece el desarrollo de las raíces. Durante el período de tuberización las necesidades hídricas pueden llegar hasta 80 metros cúbicos por hectárea y día.

Generalmente el método de riego empleado en el cultivo de la papa es el de aspersión con instalaciones móviles. Los aspersores de presión son los más recomendados ya que su gasto y potencia de bombeo son mínimos y el riego es de calidad aunque es exigente en mano de obra.

2.2 Vermicomposta y lixiviado de vermicomposta

2.2.1 Vermicomposta

En busca de la sustentabilidad en los sistemas de producción primaria (agricultura, ganadería, forestería, pesca) se ha tratado de sustituir por diferentes vías el uso de agroquímicos por productos orgánicos considerando que son productos naturales, algunos son los derivados de la lombricultura (Hernández, 2002). En este marco de referencia, en nuestro país, se cuenta con una Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007) para uno de los subproductos obtenidos a través de la lombricultura, denominado humus de lombriz o lombricomposta, que regula su designación y clasificación del producto (definición, clasificación, granulometría, pureza, humedad, presencia de semillas viables, contaminantes, madurez), especificaciones (sensoriales, calidad, fisicoquímicas, microbiológicas), muestreo y toma de muestras, métodos de prueba (pH, conductividad eléctrica, humedad, cenizas, carbono orgánico, nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno, capacidad de intercambio de catiónico, densidad aparente), envase y embalaje, etiquetado y aprobación de productor de lombricomposta (NMX, 2007).

La descomposición de la materia orgánica (MO) del suelo es una fuente principal de elementos nutrimentales para la planta, especialmente en los ecosistemas con baja aplicación de insumos. En consecuencia, la disponibilidad de los elementos nutrimentales en el suelo depende principalmente del proceso de descomposición (Moreno, 2006).

La mayoría de los desechos, independientemente de que provengan de hojas caídas o de raíces incorporadas, están sujetos a la descomposición por una vasta serie de descomponedores primarios (que incluyen bacterias, hongos y fauna), cuyas poblaciones e índices de actividad están determinadas por factores físicos (principalmente temperatura y humedad) y químicas (calidad de los recursos). Por lo tanto, las velocidades de

descomposición de los residuos están determinados por una amplia gama de factores que operan en escalas espaciales y temporales tremendamente diferentes (McInerney y Bolger, 2000).

Para llevar a cabo la mineralización de los residuos orgánicos, los suelos contienen una miríada de microorganismo que se caracterizan por su capacidad para provocar la descomposición de MO, y en consecuencia liberan elementos nutrimentales en formas asimilables para las plantas. La participación de estos organismos se debe a que la mayoría de ellos son de tipo heterótrofo y requieren de compuestos orgánicos para su crecimiento. Adicionalmente como parte de la microfauna del suelo, las lombrices de tierra ingieren grandes cantidades de suelo, MO y residuos de hoja. En consecuencia, también las lombrices tienen un papel destacado sobre la descomposición de MO y la transformación de los elementos nutrimentales (Zhang *et al*, 2000).

La descomposición de los residuos vegetales y animales es un proceso biológico básico en el cual el C es reciclado a la atmósfera como bióxido de carbono; el N se libera en forma disponible como NH_4^+ Y NO_3^- y también se libera entre otros elementos como P, S y diversos microelementos requeridos por las plantas superiores (Moreno, 2006).

La vermicomposta (VC) es un tipo de composta (Soto y Muñoz, 2002) en el cual cierto tipo de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*) transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado “vermicomposta” o “worm casting”. Los residuos de la ganadería son una “fuente de alimento” común para las lombrices, pero los residuos de aves de corral también se han utilizado en el proceso de vermicomposteo (Atiyeh, 2000; McGinnis, 2004).

La VC -lombricomposta o humus de lombriz- se genera en el tubo digestor de la lombriz y de acuerdo al uso que se destine se puede clasificar como: fertilizante orgánico, mejorador del suelo y medio de crecimiento para especies vegetales que se desarrollan en invernaderos (Moreno, 2006).

La VC, en términos generales posee, entre otras, las características que se describen en el siguiente párrafo:

Material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutrimentales, liberándolos en forma paulatina, y facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo y favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas. Se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nematodos. Los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo y, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Posee un pH neutro. Mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Durante el trasplante previene enfermedades y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad (Atiyeh *et al*, 2002; Canellas *et al*, 2002; Pereira y Zezzi-Arruda, 2003).

2.2.2 Lixiviado de vermicomposta

La inminente generalización del uso en la agricultura de abonos orgánicos tanto sólidos como líquidos generados por la lombricultura, obliga a tener referentes de su calidad fisicoquímica y bacteriológica que den certidumbre a la inversión del usuario de estos productos. En el caso de fertilizantes orgánicos sólidos (humus) se cuenta con normatividad oficial, pero en el caso de los fertilizantes líquidos utilizados en aplicaciones foliares en dilución en aguas de riego o en aplicaciones directas al suelo es necesario

contar con información de los componentes fisicoquímicos y microbiológicos para su utilización y validación como fertilizantes biológicos para generar confianza al usuario (Calderón *et al.*, 2010).

La fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje del estiércol se conoce como lixiviados de vermicomposta, extractos de vermicomposta y té de compost y presenta como ventaja una densidad más uniforme (Uribe *et al.*, 2011). Los lixiviados de vermicomposta se producen directamente de las pilas, son ricos en elementos nutrimentales y contienen microorganismo y se caracterizan por una coloración negruzca. Los lixiviados han sido considerados, tradicionalmente, como fertilizante líquido orgánico. Además, estos materiales están siendo utilizados para el control de plagas y enfermedades, puesto que tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismo benéficos, por lo que no son considerados pesticidas (Piccini y Bortone, 1991). Otros contienen químicos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de hongos; dada la gran variedad de lixiviados es muy difícil determinar el número de microorganismos benéficos presentes (Cerrato *et al.*, 2007).

Los elementos en mayor proporción en los ácidos húmicos son el Carbono (C) y el Oxígeno (O). El contenido de C en los ácidos húmicos, está alrededor de 54 a 59%, mientras que la concentración de O varía entre 33 a 38% (Terranova, 2001).

Los lixiviados de vermicomposta están constituidos por las siguientes fracciones básicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos hematmelánicos y humina.

El conjunto de ácidos que forman la denominación “Ácidos húmicos” (lixiviado de vermicomposta), está formado esencialmente por ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, y se caracteriza por ser solubles en “medio básico”, precipitando los ácidos húmicos al pasar a “medio ácido”, y quedando los ácidos fúlvicos en la solución (Cepeda, 1992).

Ácidos Fúlvicos

Como lo señala Lora (1994), los ácidos fúlvicos constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y no precipitables por los ácidos, susceptibles en cambio de experimentar floculación en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos.

Ácidos Húmicos

Se presentan como sólidos amorfos de color marrón oscuro, generalmente insolubles en agua y en casi todos los disolventes no polares, pero fácilmente dispersables en las soluciones acuosas de los hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos, constituyendo un hidrosol que puede experimentar floculación mediante el tratamiento de los ácidos o los demás cationes (SEAS, 2002).

EARTH, (1997) manifiesta que los ácidos húmicos tienen la propiedad de incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo. Se estima en términos generales que el humus puede retener agua en una proporción de veinte veces su peso.

La utilización de sustancias húmicas (principalmente los ácidos húmicos), incrementa el desarrollo radial, ya sea mediante la aplicación al suelo en soluciones de nutrimentos, ó a través de la aplicación foliar.

Los ácidos húmicos presentan un efecto positivo, tanto en la elongación del sistema radical, como en el desarrollo inicial de las raíces secundarias. La respuesta positiva de las plantas a los ácidos húmicos, generalmente decrece a altas concentraciones.

Estudios realizados indican que el efecto benéfico de los ácidos húmicos en las plantas, se debe al incremento en la absorción de macroelementos y capacidad de intercambio catiónico. Además, varios

investigadores concluyen que el aumento en el desarrollo radical, se debe principalmente al incremento en la absorción de Fósforo.

Chen y Avid (1990), indican que la solubilización de micronutrientes en los suelos provenientes de fuentes inorgánicas por medio de los ácidos húmicos, es el factor más importante en la promoción del desarrollo de las plantas.

Las sustancias húmicas también tienen un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, ya que al ser absorbidas, influyen en varios procesos bioquímicos en la pared celular, a nivel de la membrana celular, o en el citoplasma.

2.3 Estrés salino

Todos los organismos vivos están expuestos a diferentes tipos de estrés, los cuales pueden ser originados por la actividad del hombre o causas naturales como la contaminación del aire, temperatura, intensidad luminosa y limitaciones nutrimentales. Debido a que las plantas poseen limitados mecanismos para evitar el estrés, estas han desarrollado flexibles vías para adaptarse a los cambios medioambientales (Zhu, 2001).

Hasta la fecha han sido numerosos los estudios realizados para explicar las implicaciones a nivel molecular y los mecanismos bioquímicos que se desarrollan en los organismos vivos, a partir de este estrés medioambiental (Iwata *et al.*, 2001; Jia *et al.*, 2002; Zhu, 2002).

Los tipos de estrés se dividen en:

- Estrés abiótico: causado por radiaciones, hiperoxia, anoxia, deficiencia mineral, frío, calor, sequía, NaCl, choque osmótico y por las especies reactivas de oxígeno (ERO).
- Estrés biótico causado por patógenos (bacterias, hongos y virus), insectos, herbívoros y roedores.

- Estrés por xenobióticos causado por herbicidas redox-cíclicos (paraquat y diquat), contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO , NO_2 Y O_3) y metales pesados (Cd^{2+})

El estrés abiótico es la principal causa de daños a cultivos y el problema de la salinidad es el más severo (Mahaja y Tuteja, 2005). Las fuentes de este problema se dividen en:

- Fuentes naturales: erosión hídrica (los minerales presentes en las rocas, sedimentos y suelos, producen sales minerales disueltas, cuya principal vía de desembocadura después de las lluvias son los océanos). Aunque si en los lugares hay mayor evaporación de agua que lluvias, los suelos no pueden ser lavados, formándose áreas con alto contenido en sales, tal como sucede en las zonas áridas. Los vientos de estas regiones, arrastran gran cantidad de sales a otras áreas, salinizándolas, lo que se denomina erosión eólica. Los cambios climáticos mayores, como el calentamiento global que derrite los polos rápidamente y los huracanes, pueden introducir a la tierra considerable cantidad de sales provenientes del mar (Fitzpatrick *et al.*, 1994).
- Fuentes antropogénicas: sales presentes en los desechos animales, uso de fertilizantes químicos y regar la tierra con agua de mala calidad. La extracción intensiva de aguas subterráneas y la utilización de estas para fines más rentables y exigentes que el agrícola, causan que se produzca agua con contenidos cada vez más elevados en sales solubles. La demanda de alimentos ha provocado la extensión del regadío incluso marginales hasta ahora no cultivados y al regar tierras agrícolas con el agua de mala calidad, las convertimos en salinas.

Las diferentes especies vegetales difieren notablemente en sus respuestas de desarrollo frente a la salinidad, clasificándose en (Blaylock, 1994):

Halófitas (plantas saladas) algunas especies toleran hasta 200 mM NaCl:

- Plantas muy tolerantes: césped alcalino, espárrago, palmera y tamariz.
- Plantas moderadamente tolerantes: pino, olivo ruso, betabeles, cebada y algodón.

Glicófitos (plantas dulces) toleran bajas concentraciones salinas (50-100 mM):

- Plantas moderadamente sensibles: alfalfa, tomate, calabaza, lechuga, uva, papa, espinaca, avena, mostaza, pimiento, caña de azúcar, maíz, canola, apio, brócoli, pepino, flores en general, coliflor, sandía, rábano, chícharo, chayote, nabo, pimienta.
- Plantas muy sensibles: *A. thaliana*, manzana. Grosella, cereza, pera, ciruela, frambuesa, rosa, frijol, zanahoria, berenjena, chirivía, fresa, los cítricos y cebolla.

El estrés abiótico es la principal causa de daño a cultivos y el problema de la salinidad es el más severo (Mahaja y Tuteja, 2005).

La salinidad en los suelos se estima de acuerdo a la habilidad para conducir la electricidad del extracto de pasta saturada (conductividad eléctrica: EC_e). Las unidades se dan en deciSiemens/metro (dS/m). Si el suelo tiene una $EC_e \leq 4$ dS/m (≈ 40 mM NaCl; Marschner, 1995) se considera un suelo salino, con esto se determino que una tercera parte de las áreas de regadío del mundo, que suponen unos 300 millones de hectáreas (ha), están afectadas por la salinidad, de estas, 70 millones ha fueron causadas por la actividad humana (FAO, 2005).

La salinidad produce estrés iónico, osmótico-hídrico, nutrimental y oxidativo en las plantas (McCue y Hanson, 1990):

Osmótico

En condiciones de salinidad, se sufre un estrés osmótico por la gran concentración de solutos disueltos en la zona radicular. Entre más solutos existan más se reduce el potencial del soluto (ψ_s) o potencial osmótico.

Hídrico

El potencial hídrico (ψ_w) se define como el estado de energía libre de las moléculas de agua y depende principalmente del ψ_s como vimos, ante salinidad se disminuye el ψ_s por lo que también se reduce el ψ_w del suelo, lo que significa que las moléculas de agua irán de una solución menos concentrada (célula) a una más concentrada (suelo), resultando en plasmólisis (disminución de la turgencia de la planta). Por ellos se habla que la salinidad es un problema osmótico que provoca un estrés por déficit hídrico.

Iónico

La excesiva absorción de Na^+ y Cl^- pueden ayudar al potencial osmótico de las células de la planta, aunque desencadena problemas de toxicidad si estos iones no son exportados o secretados apropiadamente.

Nutrimental

Se afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas por la disminución en la absorción de K^+ , NO_3 y agua (McCue y Hanson, 1990).

Oxidativo

Ocasionado por todos los estreses anteriores.

2.3.1 Estrés Iónico

Bajo condiciones fisiológicas normales, las plantas mantienen una $[K^+]$ alta (100-200 mM) (Cuin et al., 2003) y de $[Na^+]$ baja (1-10 mM) (Sairam y Tyagi, 2004).

A continuación, las principales vías por las que se da el masivo influjo de Na^+ y el eflujo de K^+ ante el estrés salino en las plantas. Este desbalance en la homeostasis iónica intracelular (K^+/Na^+) provoca el llamado estrés iónico (Figura 2), además de que la alta concentración de Na^+ resulta toxica para cualquier célula.

2.3.1.1 Mecanismo de transporte iónico durante el estrés

El gran potencial negativo (-140 mV) de la Membrana Plasmática (MP) de las células vegetales favorece el transporte de Na^+ a las células de la epidermis y corteza de la raíz. En salinidad la gran concentración de Na^+ en los suelos penetra a las células principalmente por canales catiónicos no selectivos independientes de voltaje (NSCC-IV) (1), situados en la MP de las células de la raíz (Amtmann y Sanders, 1999; Demidchik y Tester, 2002). Otro canal responsables del influjo de Na^+ a la célula son los canales HKT (transportador histidina kinasa) (2), que normalmente permiten el influjo del esencial K^+ (Rus et al., 2002; Mäser et al., 2001; Platten et al., 2006).

El gran influjo de Na^+ causa una significativa despolarización de la MP (60-80 mV) (3) (Shabala et al., 2003, Shabala et al., 2005, Shabala et al., 2006; Cuin et al., 2008), esta despolarización reduce la fuerza electroquímica para la toma de Na^+ , pero principalmente activa a los canales KOR dependientes de despolarización, causando un drástico eflujo de K^+ tanto en células de raíz (4) (Shabala y Cuin, 2008), como de mesófilo (Shabala, 2000; Shabala et al., 2006). El tetraetil amonio (TEA) es un bloqueador de estos canales (5). La despolarización (DA) también activa a los NSCC activados por DA (NSCC-DA), con la conjunta entrada de Na^+ y la salida de K^+ (6). Sin embargo, la elevada

[Na⁺] y [Ca²⁺] externas pueden bloquear a KOR y prevenir la pérdida de K⁺ (Shabala *et al.*, 2006).

El aumento en la [Ca²⁺] durante el estrés salino se da vía receptores presentes en la membrana de las plantas que perciben el estrés salino, la señal es transmitida y activa a la fosfolipasa C (PLC) y a proteínas G, las cuales generan segundos mensajeros como el inositol trifosfato (IP₃), este último puede aumentar la [Ca⁺] (Mahajan y Tuteja, 2005), una posible vía es por la activación de canales de Ca²⁺ dependientes de fosfoinositidos presentes en el Retículo Endoplasmático (RE). El Ca²⁺ entra al citoplasma también a través de los NSCC (VIC) (1), que no discriminan entre Na⁺, K⁺ y Ca²⁺ (Demidchik y Tester, 2002).

Recientemente, en *A. thaliana* se ha visto que ante NaCl en la célula se aumentan los niveles de GMPC, no se sabe muy bien el mecanismo, pero este GMPC puede activar a un tipo de NSCC activado por GMPC (CNGC) (7), este canal permite el influjo de Ca²⁺ y no permite la entrada de Na⁺ a la célula (Donaldson *et al.*, 2004), contribuyendo a la tolerancia a la salinidad y al gran aumento en la [Ca²⁺].

La alta [Ca²⁺] produce estrés oxidativo al activar a la NADH oxidasa (NOX) (8), ésta enzima es una fuente para producción de ERO (9), a partir del O₂ produce grandes cantidades de O₂ es disputado por la SOD para producir H₂O² (Densen y Wirtz, 2001) y a partir de de H₂O² mediante una reacción tipo Fenton se genera HO⁻ (Thannickal y Fanburg, 2000). Ésta última, ERO puede activar al NSCC-OH (10) que medía tanto, la entrada de más Ca²⁺ y Na⁺ a la célula, como la pérdida de más K⁺ (11) (Demidchik *et al.*, 2003). No obstante a altas concentraciones, el OH⁻ es muy dañino, puede incidir a la peroxidación lipídica y a la muerte celular programada (PCD) (Affenzeller *et al.*, 2009).

La resultante caída en la $[K^+]$ (12) por varios tipos de NSCC Y KOR podría activar a las caspasas guiando a la PCD (13) (Hughes y Cidlowski, 1999; Affenzeller *et al.*, 2009). En el sistema animal, la caspasa-3 induce a la apoptosis celular.

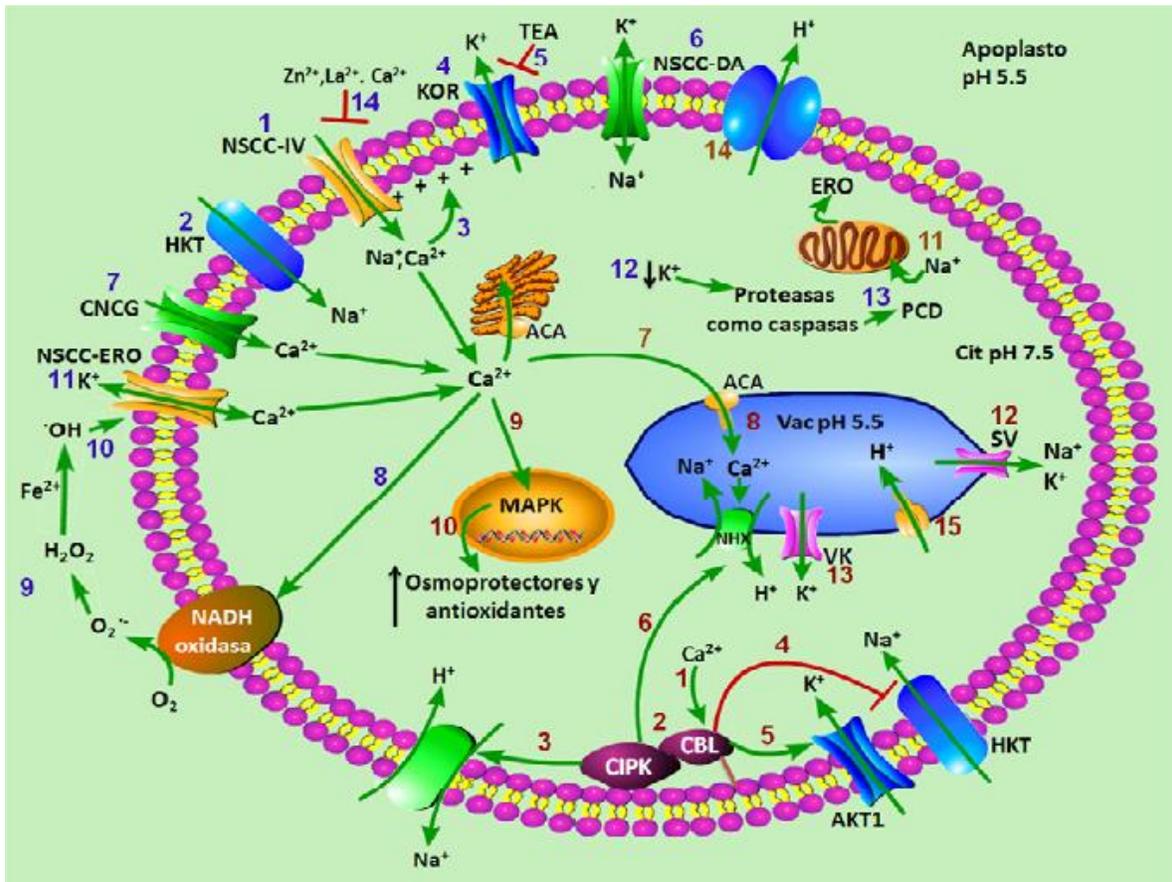


Figura 2.- Modelo que explica los efectos iónicos y celulares implicados en el estrés salino en las plantas, así como los mecanismos que median la tolerancia.

2.3.1.2 Estrés osmótico e hídrico

Unas de las primeras respuestas fisiológicas ante la pérdida de la turgencia ocurrida ante el estrés osmótico e hídrico provocado por el estrés salino es el aumento en la síntesis y redistribución de la fitohormona, ácido abscísico (ABA), la cual es también llamada hormona de la sequía o antitranspirante (Véry *et al.*, 1998). En la fotosíntesis, el CO₂ tomado por los estomas, brinda los carbonos para la producción de compuestos orgánicos, como azúcares, el alimento de la planta.

ABA inicia la activación del cierre de estomas ante el estrés salino, por lo que se disminuyen los niveles de CO₂ y por consiguiente la fotosíntesis, conduciendo al estrés oxidativo (Figura 3). ABA inicia una complicada red de señalización con el fin de que los estomas se cierren para que no haya más pérdida de agua (Véry *et al.*, 1998). Los estomas son como grandes “ventanas” que por ejemplo, durante la transpiración, donde los estomas están abiertos, permiten la pérdida de ~95% de agua de las células guarda y la entrada de grandes cantidades de CO₂ Y Na⁺.

Los estomas están situados en la epidermis de las hojas, tallos jóvenes y raíces. Están flanqueadas por dos células epidérmicas especializadas que reciben el nombre de células guarda. Recientemente, el H₂O₂ y especies reactivas del ión oxidrilo (HO) han sido identificadas como moléculas clave para el cierre de estomas inducido por ABA, se ha identificado a la NADPH oxidasa de la MP como la responsable de la generación de O₂⁻ en el apoplasto (Sagi y Fluhr, 2006; Bedard y Krause, 2007), mientras que la nitrato reductasa (NR) ha sido identificada como una fuente para HO.

ABA activa a un receptor aún no identificado en la MP (1) y ante esto se activa a la NADPH oxidasa (NOX) (2) (Kwak *et al.*, 2003), enzima que produce O₂⁻ (3) a partir de O₂, el O₂⁻ es precursor para la conversión a H₂O₂ y OH en el apoplasto, aunque estas ERO se piensa que participan en la

señalización en el citoplasma de las células guarda ya que el H₂O₂ puede atravesar la membrana de estoma (4).

El H₂O₂ activa a canales HACC- H₂O₂ (canal de Ca²⁺ activado por hiperpolarización) (5), y HO⁻ activa a HACC- HO⁻ (Foreman *et al.*, 2003; Köhler *et al.*, 2003; Pei, 2000) los cuales permiten la entrada de Ca²⁺ al citoplasma (6).

Paralelamente, ante la señal de ABA, se da la activación de la subunidad α de las proteínas G que puede activar a la PLC (fosfolipasa C) (7), aunque se ha observado que ABA activa directamente a PLC (Wang *et al.*, 2001), la PLC sintetiza IP₃ (8), el cual puede activar canales de Ca²⁺ dependientes de IP₃ intracelulares, esto resulta en una elevación adicional de la [Ca²⁺] (9).

Últimos estudios, reportan al fosfolípido esfingosina-1-fosfato (SIP) (una molécula movilizadora de Ca²⁺) (10) activada ante la señalización por ABA para el cierre de estomas (Hetherington, 2001).

La elevación en la [Ca²⁺] y H₂O₂ activan a dos tipos de canales aniónicos (Hedrich, 1994; Touverie *et al.*, 2008), a los tipos-S (Schroeder y Keller, 1992) y R (Grabov *et al.*, 1997) directamente (11) o a través de fosforilación vía una proteína kinasa dependiente de Ca²⁺ (CDPK). Ambos canales median la liberación de aniones desde la célula guarda (12). La entrada de Ca²⁺ por los NSCC- MP y el reflujó de aniones por los canales S y R de la MP causan la despolarización de la MP (13)

Otra causa de despolarización de MP es la inactivación de la bomba H⁺-ATPasa de la MP tanto por las ERO (14), como por la alta [Ca²⁺] (15) (Kinoshita *et al.*, 1995).

La despolarización causa la desactivación de canales de K⁺ rectificadores entrantes (KIR) (16) (abiertos por la hiperpolarización mediada

por la H⁺-ATPasa-MP), pero causa la activación de canales rectificadores salientes en las células guarda (GORK) (17) (Blatt, 2002). La activación de GORK resulta en un eflujo másico de K⁺ desde las células guarda. Además de que los canales KOR (canal de K⁺ rectificador saliente) son activados directamente por la alcalinización del medio efectuada por las ERO (Miedema y Assmann, 1996). La alcalinización regula a la baja a los canales aniónicos tipo R (Schulz *et al.*, 1996).

El eflujo sostenido de aniones y K⁺ por los canales aniónicos y por los GORK respectivamente, contribuye a la pérdida de turgencia, la cual conlleva al cierre de estomas. Pero para poder salir de la célula, tanto los aniones y K⁺, primero deben de salir de la vacuola. Las vacuolas tienen cerca del 90% del volumen de las células guarda, más del 90% de iones deben ser exportados desde la vacuola al citosol.

La elevada [Ca²⁺] activa a los canales vacuolares aniónicos aumentando el reflujo de Cl⁻ y malato y a VK que medía la liberación al citosol de K⁺(18). Las bombas del tonoplasto crean un gradiente mediante la entrada de H⁺ a la vacuola, acción realizada principalmente por la H⁺-ATPasa del tonoplasto. El aumento en la compartimentalización de H⁺ por las bombas del tonoplasto provoca que se aumente el pH citoplasmático, lo que activa más a los canales GORK (20). Se ha reconocido que se induce una reorganización del citoesqueleto durante el movimiento de estomas (Schroeder *et al.*, 2001).

La deshidratación causa plasmólisis (disminución de la turgencia) de las células y acelera la biosíntesis de ABA tanto en hojas como en raíz, como lo estudiamos anteriormente. La plasmólisis también destruye a los microtúbulos del citoesqueleto y a la geometría de la pared celular (PC), ésta información se transmite a los microtúbulos para que respondan.

ABA provoca la ruptura de microtúbulos corticales, mediante la señalización de AtRacl, se rompen las cadena de actina (21) (Jiang *et al.*, 1996) provocando el cierre de estomas en las células guarda.

Las Rho GTPasa (Rhops) en plantas son una familia con 11 miembros de pequeñas GTPasa en las plantas y algunos están implicados en la reorganización del citoesqueleto. Dos miembros de esta familia, ROP6 (también llamado AtRAC1) (Lemichez, *et al.*, 2001) y ROP10, han sido implicados en la respuesta de ABA en células guarda. Estudios con líneas de *A. thaliana* transgénicos, indican que ROP6 Y ROP10 son reguladores negativos en la respuesta de ABA y estas especies, en la germinación de las semillas y la elongación de la raíz, se ven afectadas, ya que las ROP son reguladores de la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas (Zheng *et al.*, 2002).

La respuesta adaptativa de la planta conlleva a “encender” genes de respuesta al estrés, de hecho más de 1000 genes son regulados por ABA para hacer frente al estrés hídrico.

Las MAPK pueden activar la síntesis de solutos compatibles (Sairam y Tyagi, 2004), por ejemplo carbohidratos (sacarosa, sorbitol, manitol, glicerol y polioles cíclicos como el mioinositol), compuestos nitrogenados [proteínas, glicinabetaina (Mahajan y Tuteja, 2005), Pas (Cuin y Shabala, 2007), glutamato, glicina, colina] y ácidos orgánicos e inorgánicos (oxalato, malato y prolina) (Hasegawa *et al.*, 2000). Estos compuestos son llamados osmoprotectores porque proporcionan protección al estrés osmótico-hídrico, ya que siendo osmolitos, regulan el potencial osmótico y facilitan la retención de agua en el citoplasma. Aunque hay controversias, ya que la suma de todos los osmolitos no parece ser necesaria para contrarrestar la gran concentración de solutos en el suelo. Se ha visto que los polioles permiten el secuestro de Na⁺ en la vacuola y en el apoplasto (Bohnert *et al.*, 1995) y también protegen a las membranas celulares del daño oxidativo provocado por las ERO, sobre regulando las actividades de varios antioxidantes (Yan *et al.*, 2000).

2.4 Características fisicoquímicas de los tubérculos de papa

2.4.1 Determinación de sólidos totales en alimentos

El análisis de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos, es uno de los aspectos principales en el aseguramiento de su calidad (NMX-F-527-1992). Cumple un papel importante en la determinación del valor nutrimental, en el control del cumplimiento de los parámetros exigidos por los organismos de salud pública y también para el estudio de las posibles irregularidades como adulteraciones y falsificaciones, tanto en alimentos terminados como en sus materia primas (ICTA, 2014).

El componente más abundante y el único que está presente en casi la totalidad de los alimentos es el agua (UNM, 2014).

La determinación del contenido de humedad de los alimentos es una de las técnicas más importantes y ampliamente usadas en el proceso y control de los alimentos ya que indica la cantidad de agua involucrada en la composición de los mismos. En la mayoría de los alimentos se realiza a través de la determinación de la pérdida de masa que sufre un alimento cuando se somete a una combinación tiempo-temperatura adecuada. El residuo que se obtiene se conoce como sólido total o materia seca. El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada hasta peso constante en estufa de aire (UNM, 2014).

A este análisis se le conoce también como contenido de humedad o materia seca (MS). La determinación de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en un producto alimentario y, sin embargo, puede ser el análisis del que es más difícil obtener resultados exactos y precisos. La materia seca que permanece en el alimento posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales (Hart y Fisher, 1991).

Como argumenta Egan (1991), el contenido de humedad de los alimentos es de gran importancia, pero su determinación exacta es difícil. En el caso de frutas y verduras, el porcentaje de humedad es mayor en relación a otros alimentos que también contienen humedad, y aún en los aceites se encuentra una cierta cantidad de agua.

La determinación de humedad es importante para conocer la proporción en que se encuentran los nutrimentos y nos indica la estabilidad de los alimentos. Además, nos sirve para determinar las condiciones de almacenamiento, sobre todo en granos, ya que éstos no se pueden almacenar con un 14% de humedad, debido al crecimiento de microorganismos tales como hongos. Existen varios métodos para determinar la humedad; cada método depende de varios factores como: naturaleza de la muestra, rapidez del método y exactitud deseada (Harold *et al.*, 1991).

Cuando hablamos de naturaleza de la muestra nos referimos a la forma en que el agua se encuentra en los alimentos. Hay que considerar el tipo de alimento para la determinación (Harold *et al.*, 1991).

2.4.2 Determinación de azúcares reductores

Los carbohidratos son compuestos orgánicos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno, pueden ser moléculas simples o complejas. Históricamente, el término “carbohidrato” se ha usado para clasificar a todos los compuestos con la fórmula general $C_n(H_2O)_n$ como los hidratos de carbono. Los carbohidratos importantes de los alimentos incluyen azúcares simples, dextrinas, almidones, celulosas, hemicelulosas, pectinas y gomas. Son una fuente importante de energía o fibra en la dieta, y son también constituyentes importantes de los alimentos debido a sus propiedades funcionales (CONICYT, 2007).

Los azúcares que contienen un grupo oxidrilo libre se conocen como azúcares reductores. Todos los monosacáridos son azúcares reductores. Los monosacáridos son carbohidratos simples constituidos por tres a ocho átomos de carbono, pero sólo los de cinco o seis átomos de carbono son comunes. Dos de los más importantes en los alimentos son los azúcares de seis átomos de carbono glucosa y fructosa. Éstos tienen la fórmula general $C_6H_{12}O_6$ (CONICYT, 2007).

Los disacáridos son azúcares reductores sólo si contienen un grupo carbonilo libre. Los disacáridos están constituidos por dos monosacáridos unidos con enlace especial, llamado enlace glicosídico. Un enlace glicosídico se forma cuando el grupo carbonilo de un monosacárido reacciona con un grupo hidroxilo de otra molécula y se elimina agua (CONICYT, 2007).

La sacarosa no es un azúcar reductor porque no tiene un grupo carbonilo libre. Los grupos carbonilo de la glucosa y la fructosa intervienen ambos en el enlace glicosídico y, por tanto, no están libres para participar en otras reacciones. La maltosa, por otra parte, tiene un grupo carbonilo libre, por tanto la maltosa es un azúcar reductor (CONICYT, 2007).

Los azúcares reductores dan colores marrones a los productos horneados cuando se combinan con grupos aminoácidos libres de las proteínas en una reacción de pardeamiento llamada reacción de Maillard (CONICYT, 2007).

Una manera de medir la cantidad de sólidos solubles (azúcares) en los alimentos es determinando los grados Brix presentes en el alimento (CONICYT, 2007).

El refractómetro de mano (Brixómetro), es un instrumento óptico preciso, y como su nombre lo indica, basa su funcionamiento en el estudio de la refracción de la luz. Este elemento es utilizado en la Enología para la medición de grados Brix que contienen las uvas. Estos grados, por su

exactitud, son la nueva medida utilizada en la elaboración para saber la cantidad de gramos de azúcar que contiene la uva. La relación entre grados Brix y gramos de azúcar es directa proporcional, es decir, una solución de 25 °Bx tiene 25 gramos de azúcar (sacarosa) (CONICYT, 2007).

3.- Materiales y métodos

3.1 Obtención del material vegetativo

Para el presente proyecto se consiguieron semillas de papa de la variedad Criolla, observando que tuvieran las yemas necesarias para su brote como lo describe Villafuerte (2008). Se consideraron 5 meses para germinación de la yema a una temperatura entre 5 a 15 °C, estos meses fueron de enero a junio (primavera-verano) en un lugar sin luz o con luz difusa.

Se determinó finalmente que la variedad de la papa es Criolla enana. Esto fue determinado por su tamaño máximo al madurar el tubérculo que es aproximadamente entre 4 y 5 cm de diámetro, y entre 6 y 7 cm de largo, con un peso entre 17 y 32 g para cada tubérculo.

3.2 Obtención de lixiviado de vermicomposta y vermicomposta

Los plantíos de papa sometidos a un estrés salino se abonaron de manera orgánica con lixiviado de vermicomposta (ácidos húmicos) y vermicomposta (humus de lombriz). Los cuales también sirvieron como fuente de nutrimentos para la planta.

Estos materiales se obtuvieron de la planta de lombricultura “LuAnDa”, ubicada en el km 10.5 de la carretera Ocozocoautla-Villaflores, Chiapas.

3.3 Diseño experimental

Para tener un control del comportamiento de las plantas de papa, se asigno el diseño experimental presentado en el cuadro 2, se incluyen las dosis de cada variable independiente:

vermicomposta	lixiviados	stress salino
0	0	0
-1	-1	0
1	-1	0
-1	1	0
1	1	0
-1	0	-1
1	0	-1
0	0	0
-1	0	1
1	0	1
0	-1	-1
0	1	-1
0	-1	1
0	1	1
0	0	0

Cuadro 2.- Diseño experimental

Se consideraron como variables independientes la vermicomposta, lixiviado de vermicomposta y estrés salino. Los datos en el Cuadro 2 significan:

Vermicomposta

-1= 300 g

0= 581 g

1= 862 g

Estrés salino

-1= 15 mM NaCl

0= 20 mM NaCl

1= 25 mM NaCl

Lixiviado

-1= 5 ml

0= 10 ml

1= 15 ml

De acuerdo con el Cuadro 2 se sembraron las semillas de papa. Del diseño anterior se realizaron dos repeticiones, es decir, el diseño original contiene 15 plantíos, sumando las dos repeticiones, hacen un total de 45 tratamientos que sirvieron para el análisis del proyecto, agregándoles la cantidad correspondiente de estés salino, lixiviado y vermicomposta, de acuerdo al diseño experimental. Se consideraron tres plantas como Control que son los tratamientos 1, 8 y 15.

3.4 Implementación de las unidades experimentales

El proyecto se realizó en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Precizando el lugar, se llevo a cabo en Calle Chalchiuitán, #6. Colonia Erasto Urbina (16.7456225 latitud, -92.643294 longitud, 1940 msnm) (Figura 4). Se eligió ese lugar por las necesidades de humedad y temperaturas bajas que requiere la planta de papa.



Figura 4.- Lugar donde se realizó el proyecto de cultivos de papa

El marco de plantación fue de tres hileras. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres variables y tres repeticiones. Las variables fueron: lixiviado de vermicomposta, vermicomposta y estrés salino. Los tratamientos se efectuaron al momento de la siembra de acuerdo al Cuadro 2. Las 45 plantas se sembraron en bolsas de invernadero de tamaño 30 cm x 30 cm como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 5.- Distribución de las plantas de papa que se usaron para el experimento

Los tubérculos de papa se cosecharon la primera semana de Diciembre del 2014, habiendo pasado ya 5 meses desde que se sembraron en Junio de 2014. Ahí mismo se tomaron los datos de pesos frescos (plantas y tubérculos) y peso seco de la planta. También se midieron periódicamente la altura y grosor del diámetro de la planta.

Posteriormente se llevaron los tubérculos al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez para sus análisis fisicoquímicos.

3.5 Metodología

Los siguientes análisis se realizaron en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el laboratorio de Análisis de Tejido Vegetal del Edificio Z. La metodología fue la siguiente.

3.5.1 pH y conductividad eléctrica

Se pesó aproximadamente 10 gramos de muestra, añadir 100 ml de agua destilada, se molió en un mortero, se decantó el sobrenadante y se filtró usando papel Whatman n° 2; en el filtrado se midió pH. En el mismo filtrado se tomó lectura de la conductividad eléctrica usando un Potenciómetro Hanna Hi 2211 de sobremesa (pH & CE tester).

3.5.2 Grados Brix

Se pesó aproximadamente 10 gramos de muestra, se añadió 100 ml de agua destilada, se molió en un mortero, se decantó el sobrenadante y se filtró; en el filtrado se tomó una alícuota de entre 0.5 ml y 1ml, hasta cubrir el lector del Refractómetro digital de mano PAL-1. Posteriormente se realizó lectura.

3.5.3 Sólidos totales

Se trituro la muestra individualmente con un cuchillo. Se colocaron los trocitos de muestra en pequeños trozos de papel aluminio; para esto, antes se tomó el peso del papel aluminio para posteriormente hacer la diferencia. Se colocaron las muestras en una estufa de secado al vacío BINDER a 70 °C durante 24 hrs. Se retiraron las muestras al desecador para evitar que la muestra absorba humedad. Finalmente se pesó las muestras secas y se realizó la diferencia con el primer peso de las muestras.

3.6 Análisis estadístico

Todos los datos fueron analizados estadísticamente de acuerdo a un análisis de varianza, utilizando un valor de $p < 0.05$. Se determinaron también los coeficientes de regresión, diagrama de Pareto y superficie de respuesta estimada. Todos los parámetros se determinaron utilizando el software Statgraphics Centurion XV

3.7 Resultados

3.7.1 pH

En el cuadro 3 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, incluso los datos no llegan a 0.1, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	6.31111	0.0450444	
A:vermicomposta+bloque	-0.0583333	0.0551678	1.0
B:lixiviados+bloque	0.166667	0.0551678	1.0
C:stress salino+bloque	-0.025	0.0551678	1.0
AA+bloque	-0.169444	0.0812049	1.01111
AB	0.0666667	0.0780191	1.0
AC	-0.05	0.0780191	1.0
BB+bloque	-0.219444	0.0812049	1.01111
BC+bloque	0.0	0.0780191	1.0
CC+bloque	0.263889	0.0812049	1.01111
bloque	0.00444444	0.0569771	1.33333
bloque	0.0577778	0.0569771	1.33333

Cuadro 3.- Efectos estimados y Error estándar

En la figura 6 (Diagrama de Pareto) se observan los factores de gran relevancia que afectan al pH. Se puede observar que a medida que aumenta el estrés salino aumenta el pH de igual manera con el lixiviado de vermicomposta. Los factores que los disminuyen son vermicomposta ya que se acidifica el fruto de papa (tubérculos).

Diagrama de Pareto Estandarizada para pH

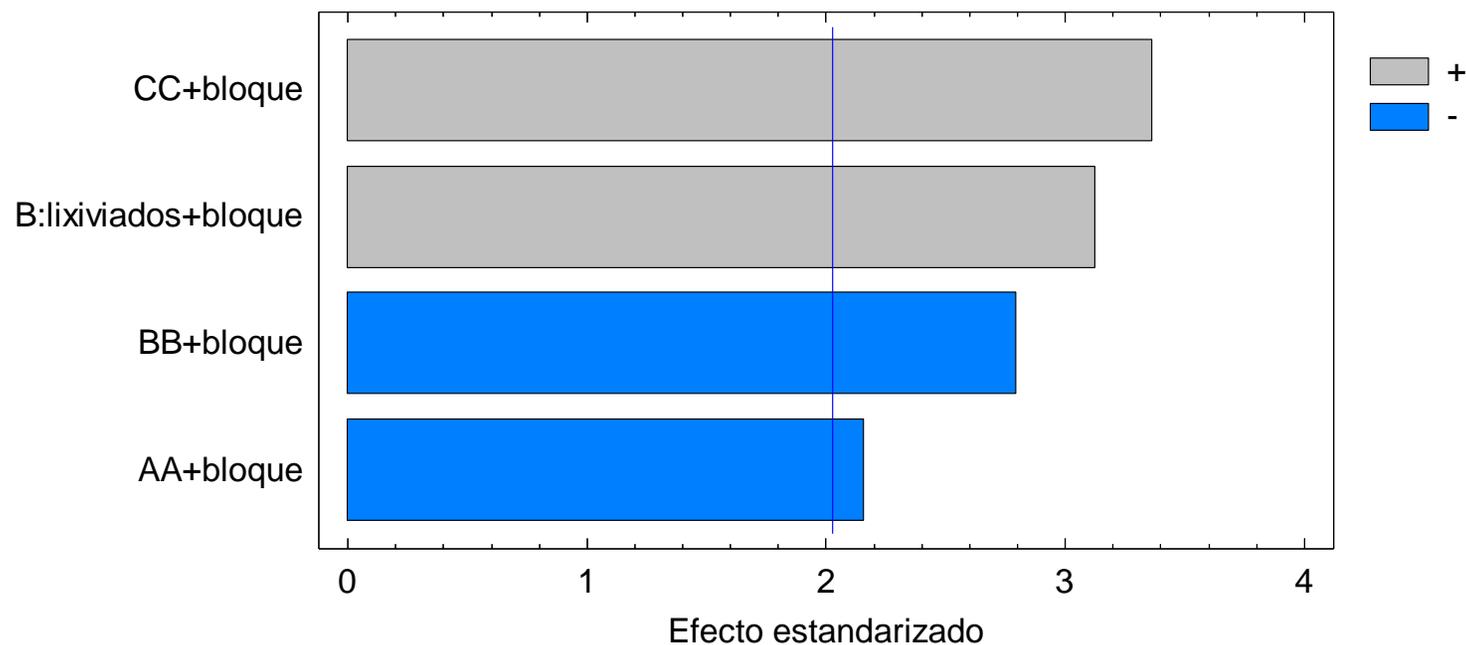


Figura 6.- Diagrama de Pareto que muestra el comportamiento del pH

3.7.1.1 Análisis de varianza de pH

El cuadro 4 demuestra la variabilidad de pH en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 52.84%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que B, AA, BB y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+ bloque	0.0204167	1	0.0204167	1.12	0.2980
B:lixiviados+bloque	0.166667	1	0.166667	9.13	0.0048
C:stress salino+bloque	0.00375	1	0.00375	0.21	0.6534
AA+bloque	0.0795085	1	0.0795085	4.35	0.0447
AB	0.0133333	1	0.0133333	0.73	0.3990
AC	0.0075	1	0.0075	0.41	0.5260
BB+bloque	0.133355	1	0.133355	7.30	0.0108
BC+bloque	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
CC+bloque	0.192842	1	0.192842	10.56	0.0027
bloques	0.0271111	2	0.0135556	0.74	0.4838
Error total	0.602611	33	0.0182609		
Total (corr.)	1.27778	44			

Cuadro 4.- Análisis de varianza de pH

3.7.1.2 Coeficiente de regresión para pH

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\text{pH} = 6.27778 - 0.0291667 * \text{vermicomposta} + 0.0833333 * \text{lixiviados} - 0.0125 * \text{stress salino}$$

Para encontrar el valor de pH preciso, necesario para que el tubérculo de papa se desarrolle en óptimas condiciones, se sugieren los datos del Cuadro 5. El cuadro 5 muestra la combinación de los factores, la cual minimiza el pH para obtener un mejor desarrollo del tubérculo de papa.

Optimizar Respuesta

Meta: minimizar pH

Valor óptimo = 6.03333

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Vermicomposta	-1.0	1.0	-1.0
lixiviados	-1.0	1.0	-1.0
stress salino	-1.0	1.0	0.0

Cuadro 5. Valores para optimizar respuesta minimizando pH

En la siguiente gráfica se muestra la relación lixiviado-pH que se desarrolla durante el desarrollo del tubérculo.

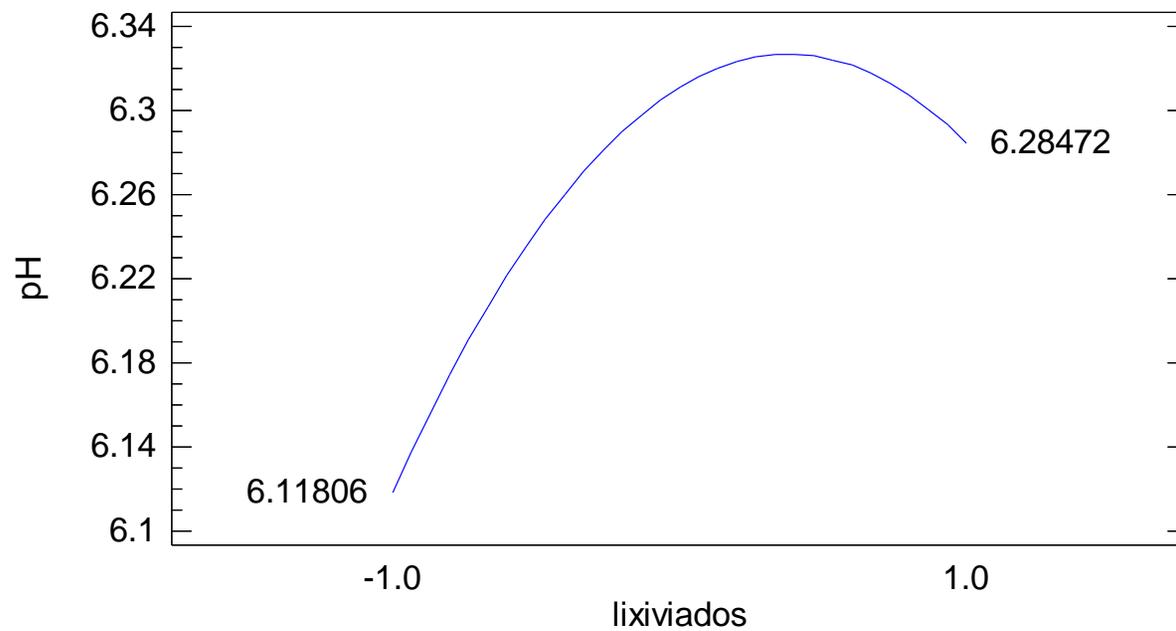


Figura 7.- Comportamiento de la relación lixiviado-pH

3.7.1.3 Superficie de Respuesta Estimada para pH

A continuación la figura 8 muestra la superficie de respuesta teniendo como factor estrés salino = 0

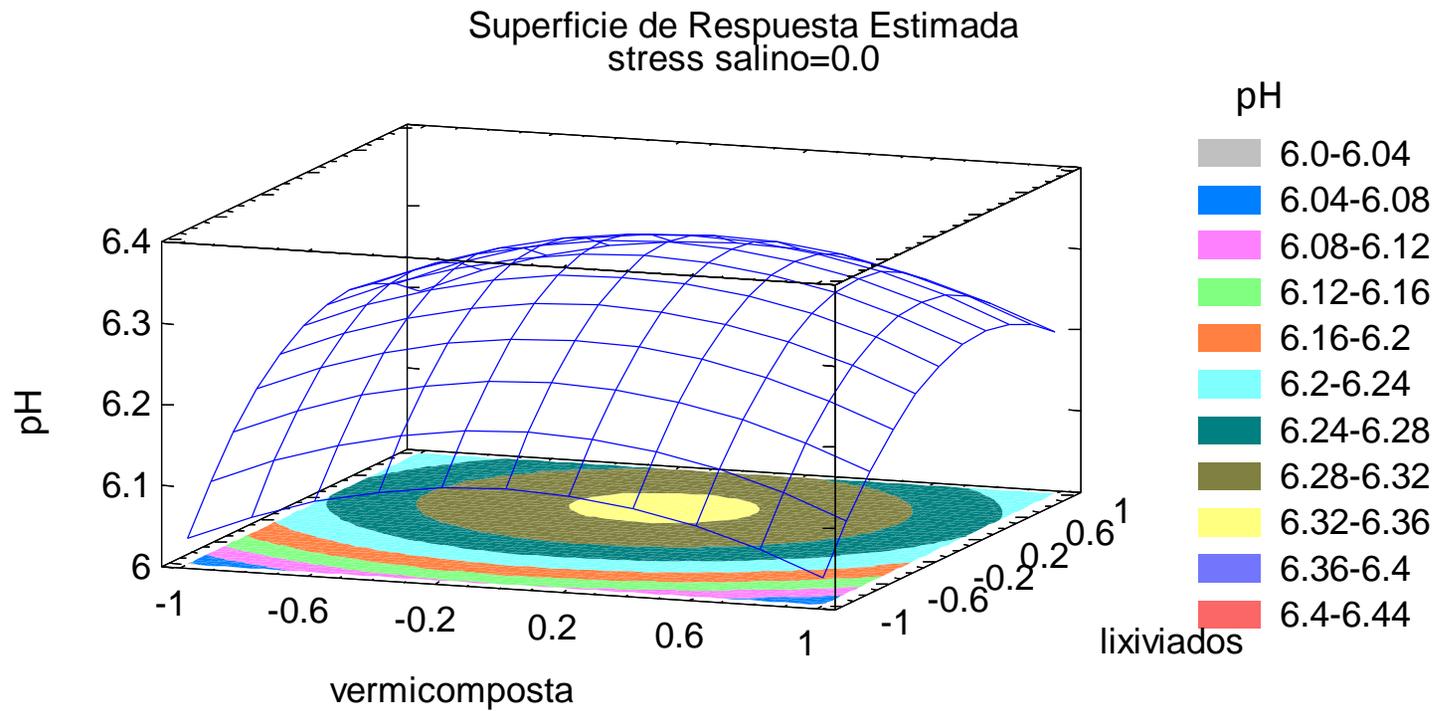


Figura 8.- Superficie de Respuesta Estimada para pH

3.7.2 Conductividad eléctrica

En el cuadro 6 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estandar	V.I.F.
promedio	42.6333	2.08897	
A:vermicomposta+bloque	2.54167	2.55846	1.0
B:lixiviados+bloque	-6.2	2.55846	1.0
C:stress salino+bloque	-2.075	2.55846	1.0
AA+bloque	5.325	3.76594	1.01111
AB	-0.0333333	3.6182	1.0
AC	0.316667	3.6182	1.0
BB+bloque	6.54167	3.76594	1.01111
BC+bloque	-4.46667	3.6182	1.0
CC+bloque	-15.075	3.76594	1.01111
bloque	2.08444	2.64236	1.33333
bloque	-0.222222	2.64236	1.33333

Cuadro 6.- Efectos estimados para Conductividad Eléctrica

3.7.2.1 Análisis de varianza de Conductividad Eléctrica

El cuadro 7 demuestra la variabilidad de CE en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 49.65%. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que B y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	38.7604	1	38.7604	0.99	0.3277
B:lixiviados+bloque	230.64	1	230.64	5.87	0.0210
C:stress salino+bloque	25.8338	1	25.8338	0.66	0.4232
AA+bloque	78.5233	1	78.5233	2.00	0.1667
AB	0.00333333	1	0.00333333	0.00	0.9927
AC	0.300833	1	0.300833	0.01	0.9308
BB+bloque	118.505	1	118.505	3.02	0.0917
BC+bloque	59.8533	1	59.8533	1.52	0.2257
CC+bloque	629.323	1	629.323	16.02	0.0003
bloques	29.4831	2	14.7416	0.38	0.6899
Error total	1296.05	33	39.2742		
Total (corr.)	2574.08	44			

Cuadro 7.- Análisis de varianza para CE

3.7.2.2 Coeficiente de regresión para Conductividad Eléctrica

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$CE = 42.6333 + 1.27083*vermicomposta - 3.1*lixiviados - 1.0375*stress\ salino + 2.6625*vermicomposta^2 - 0.0166667*vermicomposta*lixiviados + 0.158333*vermicomposta*stress\ salino + 3.27083*lixiviados^2 - 2.23333*lixiviados*stress\ salino - 7.5375*stress\ salino^2$$

Para una mejor observación, el Diagrama de Pareto, muestra la optimización de los valores independientes durante el desarrollo de la planta y del tubérculo.

La Figura 9 muestra el factor independiente que más influye en los resultados de Conductividad Eléctrica. Se puede observar que a menor concentración de NaCl; es decir, el efecto de estrés salino, mejora la conductividad eléctrica lo cual tiene sentido ya que, hay menos relaciones entre cationes y aniones presentes en el fruto.

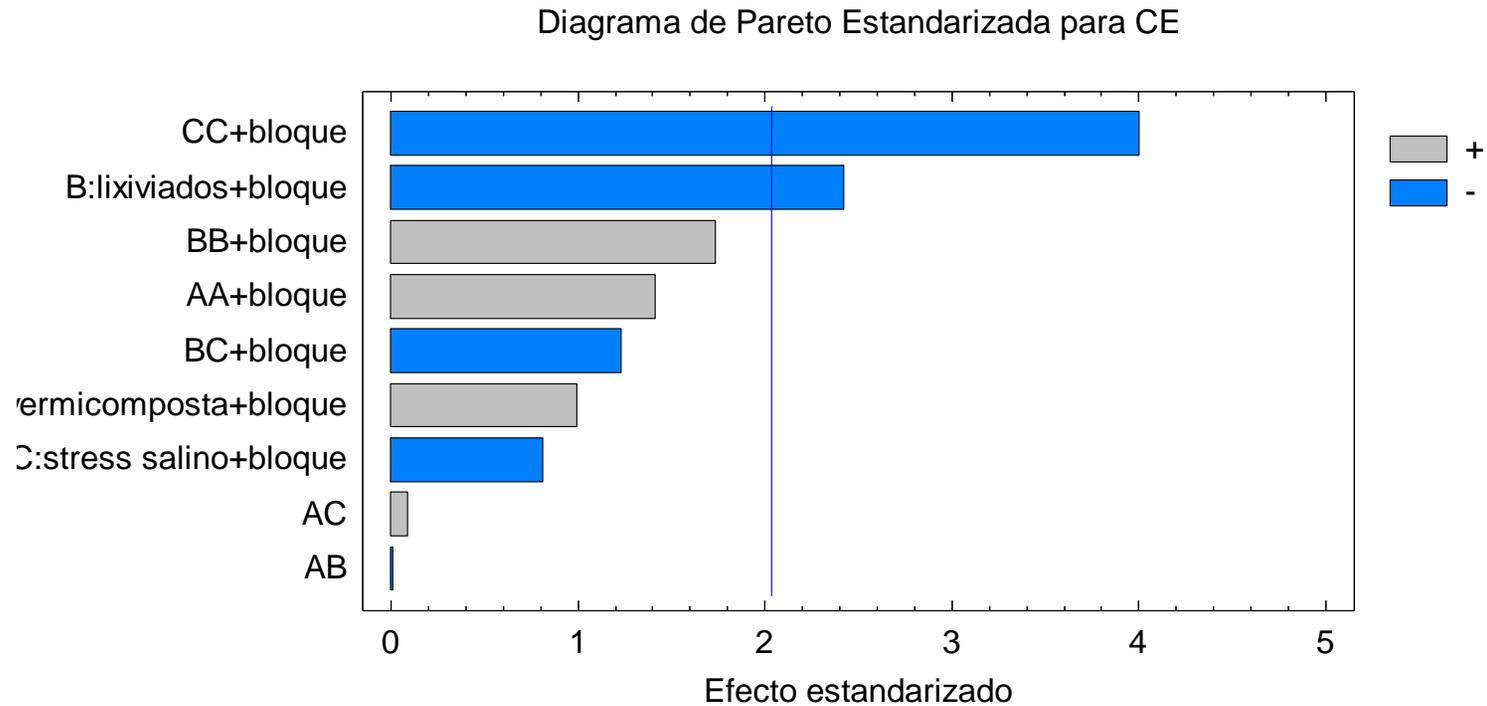


Figura 9.- Diagrama de Pareto para CE

3.7.2.3 Superficie de Respuesta Estimada para Conductividad Eléctrica

La Figura 10 muestra los resultados estimados de CE para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

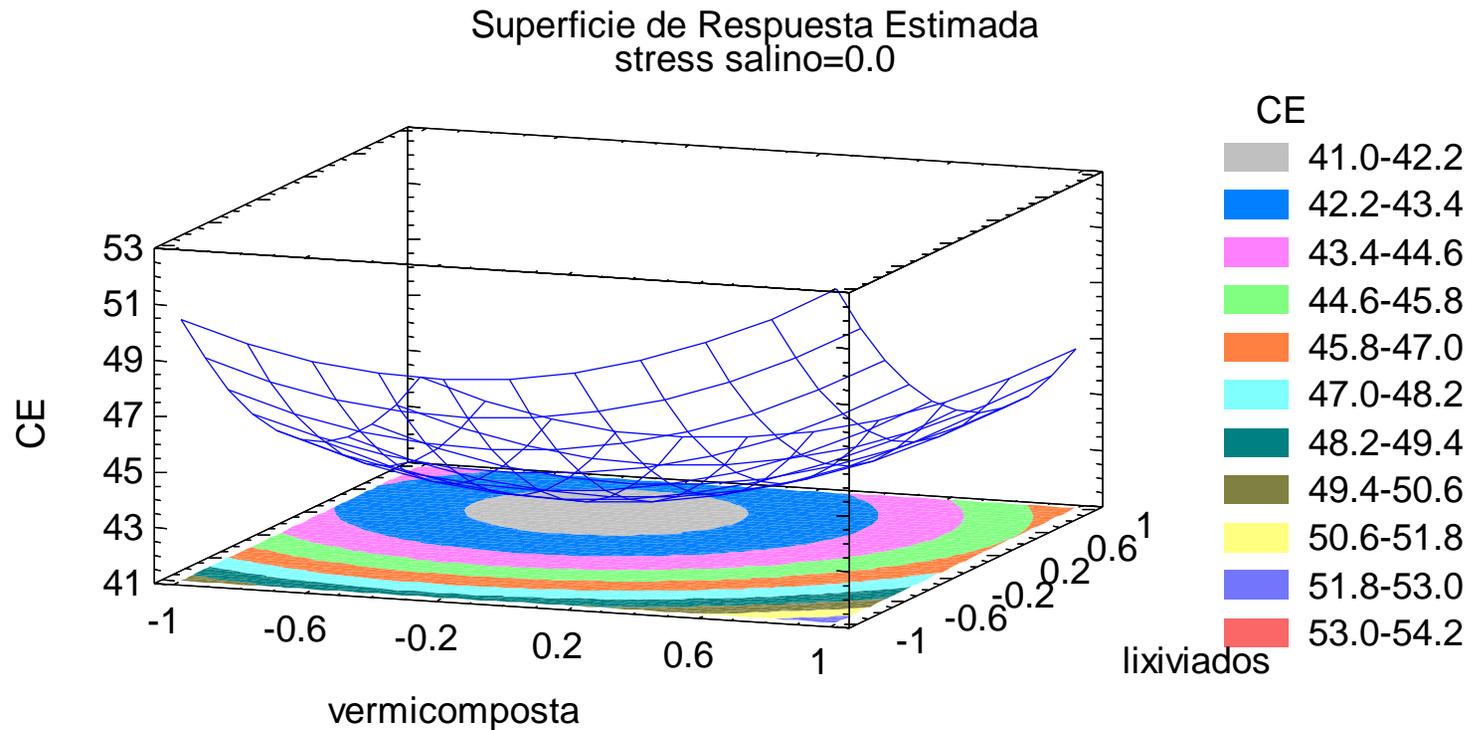


Figura 10.- Superficie de Respuesta Estimada para Conductividad Eléctrica

3.7.3 Grado Brix

En el cuadro 8 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	0.777778	0.12251	
A:vermicomposta+bloque	-0.225	0.150044	1.0
B:lixiviados+bloque	-0.283333	0.150044	1.0
C:stress salino+bloque	0.425	0.150044	1.0
AA+bloque	-0.852778	0.220859	1.01111
AB	0.466667	0.212194	1.0
AC	-0.15	0.212194	1.0
BB+bloque	0.263889	0.220859	1.01111
BC+bloque	0.0666667	0.212194	1.0
CC+bloque	-0.219444	0.220859	1.01111
bloque	-0.00444444	0.154965	1.33333
bloque	-0.0711111	0.154965	1.33333

Cuadro 8.- Efectos estimados para Grados Brix

3.7.3.1 Análisis de Varianza para Grados Brix

El cuadro 9 demuestra la variabilidad de Grados Brix en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 53.11%. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que C, AA y AB, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	0.30375	1	0.30375	2.25	0.1432
B:lixiviados+bloque	0.481667	1	0.481667	3.57	0.0678
C:stress salino+bloque	1.08375	1	1.08375	8.02	0.0078
AA+bloque	2.01387	1	2.01387	14.91	0.0005
AB	0.653333	1	0.653333	4.84	0.0350
AC	0.0675	1	0.0675	0.50	0.4846
BB+bloque	0.192842	1	0.192842	1.43	0.2407
BC+bloque	0.0133333	1	0.0133333	0.10	0.7554
CC+bloque	0.133355	1	0.133355	0.99	0.3276
bloques	0.0404444	2	0.0202222	0.15	0.8615
Error total	4.45761	33	0.135079		
Total (corr.)	9.50578	44			

Cuadro 9.- Análisis de Varianza para Grados Brix

3.7.3.2 Coeficiente de Regresión para Grados Brix

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\begin{aligned} \text{Brix} = & 0.777778 - 0.1125*\text{vermicomposta} - 0.141667*\text{lixiviados} + 0.2125*\text{stress salino} - \\ & 0.426389*\text{vermicomposta}^2 + 0.233333*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} - \\ & 0.075*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} + 0.131944*\text{lixiviados}^2 + \\ & 0.0333333*\text{lixiviados}*\text{stress salino} - 0.109722*\text{stress salino}^2 \end{aligned}$$

La figura 11, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en la producción de azúcares (sólidos solubles) que se ven reflejados en los datos de Grados Brix.

Se puede ver claramente que el factor independiente que influye mayormente en la producción de azúcares, es la vermicomposta, ya que a mayor concentración de vermicomposta mayor rendimiento en Grados Brix se obtiene.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Brix

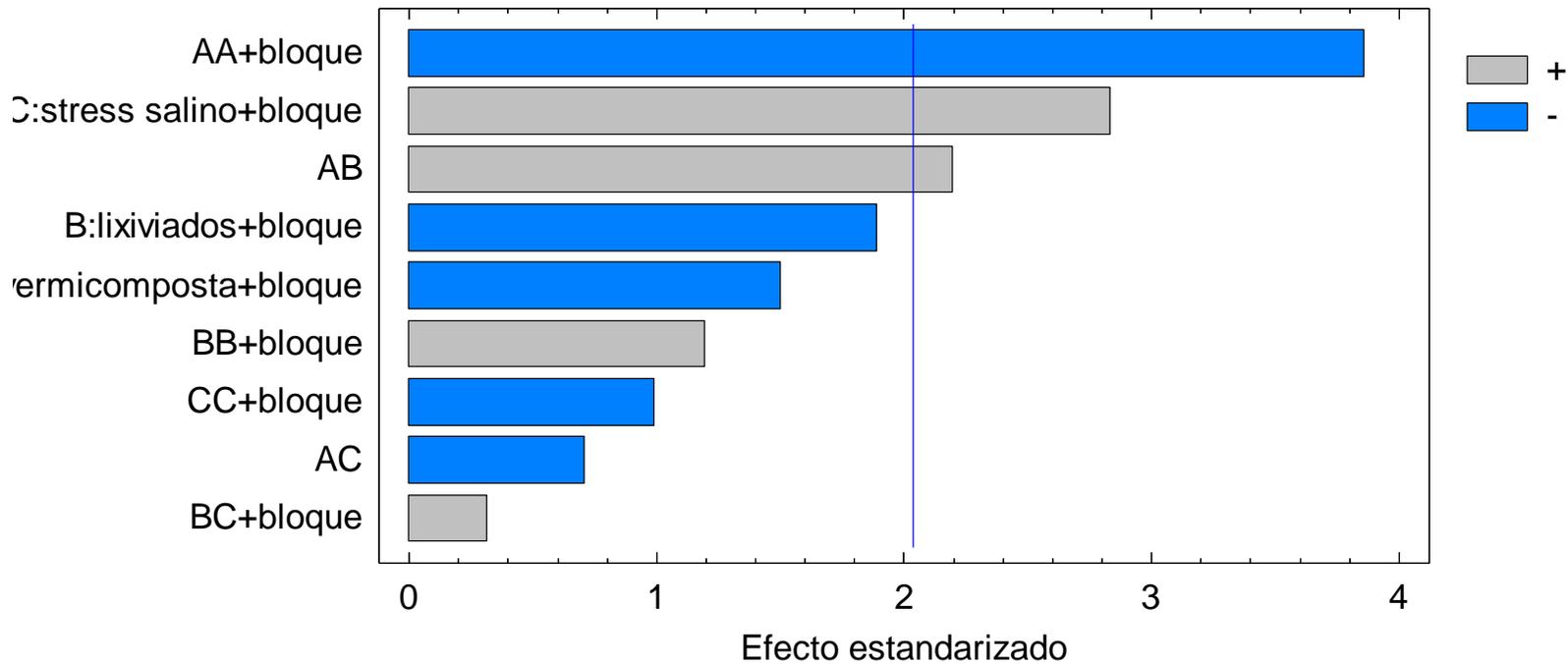


Figura 11.- Diagrama de Pareto de Grados Brix

3.7.2.3 Superficie de Respuesta Estimada para Grados Brix

En la Figura 12 se observa los resultados estimados de Grados Brix para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

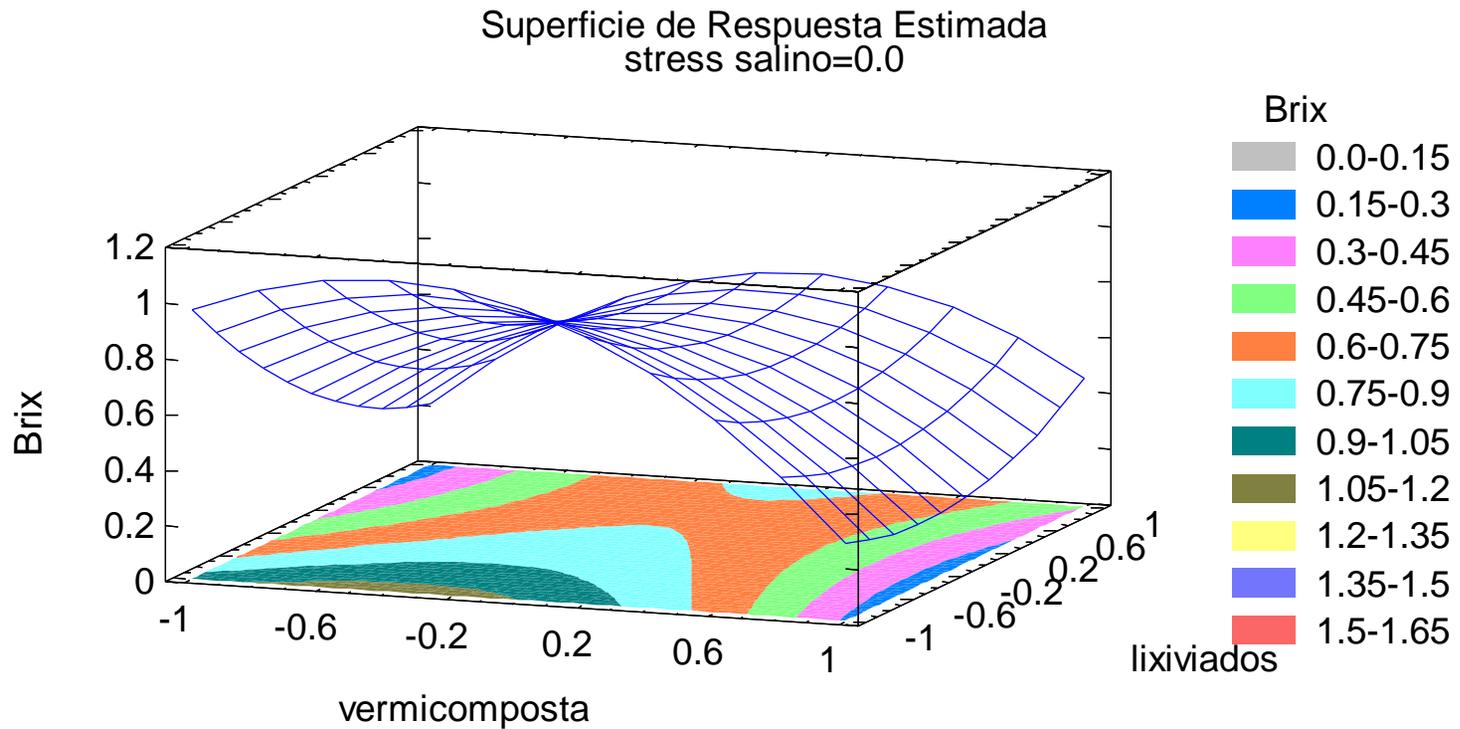


Figura 12.- Superficie de Respuesta Estimada de Grados Brix

3.7.4 Sólidos Totales

En el cuadro 10 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	13.1111	1.64907	
A:vermicomposta+bloque	2.14167	2.01969	1.0
B:lixiviados+bloque	-2.76667	2.01969	1.0
C:stress salino+bloque	-3.225	2.01969	1.0
AA+bloque	-6.42778	2.97291	1.01111
AB	-0.05	2.85628	1.0
AC	-12.0667	2.85628	1.0
BB+bloque	-0.811111	2.97291	1.01111
BC+bloque	1.55	2.85628	1.0
CC+bloque	5.43889	2.97291	1.01111
bloque	-1.19556	2.08593	1.33333
bloque	-0.982222	2.08593	1.33333

Cuadro 10.- Efectos Estimados para Sólidos Totales

3.7.4.1 Análisis de Varianza para Sólidos Totales

El cuadro 11 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 50.40%. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que AA y AC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	27.5204	1	27.5204	1.12	0.2967
B:lixiviados+bloque	45.9267	1	45.9267	1.88	0.1800
C:stress salino+bloque	62.4038	1	62.4038	2.55	0.1198
AA+bloque	114.414	1	114.414	4.67	0.0380
AB	0.0075	1	0.0075	0.00	0.9861
AC	436.813	1	436.813	17.85	0.0002
BB+bloque	1.82188	1	1.82188	0.07	0.7867
BC+bloque	7.2075	1	7.2075	0.29	0.5910
CC+bloque	81.918	1	81.918	3.35	0.0764
bloques	26.7631	2	13.3816	0.55	0.5840
Error total	807.675	33	24.475		
Total (corr.)	1628.34	44			

Cuadro 11.- Análisis de Varianza para Sólidos Totales

3.6.4.3 Coeficiente de regresión para Sólidos Totales

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\begin{aligned} \text{Sólidos Totales} = & 13.1111 + 1.07083*\text{vermicomposta} - 1.38333*\text{lixiviados} - \\ & 1.6125*\text{stress salino} - 3.21389*\text{vermicomposta}^2 - \\ & 0.025*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} - 6.03333*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} - \\ & 0.405556*\text{lixiviados}^2 + 0.775*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 2.71944*\text{stress salino}^2 \end{aligned}$$

En la figura 13, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en la producción de los tubérculos de papa, que se ven reflejados en los datos de Sólidos Totales. Lo que se observa es que los factores vermicomposta, junto con el estrés salino, tienen un claro efecto sobre la producción de Sólidos Totales. Tanto así, que, al disminuir la concentración de esos factores se ve mejorada la producción de Sólidos Totales más, que si se disminuyera cualquier otro factor independiente.

Diagrama de Pareto Estandarizada para sólidos totales

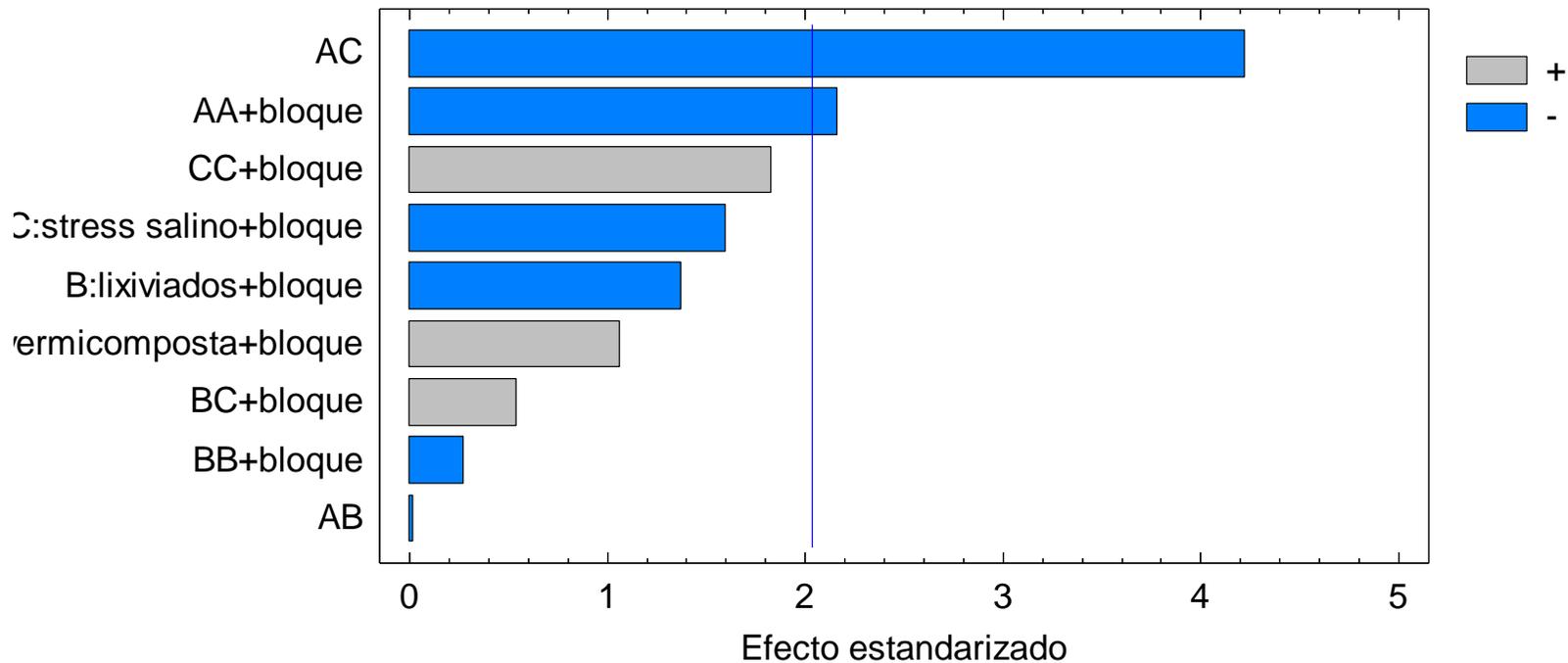


Figura 13.- Diagrama de Pareto para Sólidos Totales

3.7.4.3 Superficie de Respuesta Estimada para Sólidos Totales

En la Figura 14 se observan los resultados estimados de Sólidos Totales, presentes en el tubérculo de papa, para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

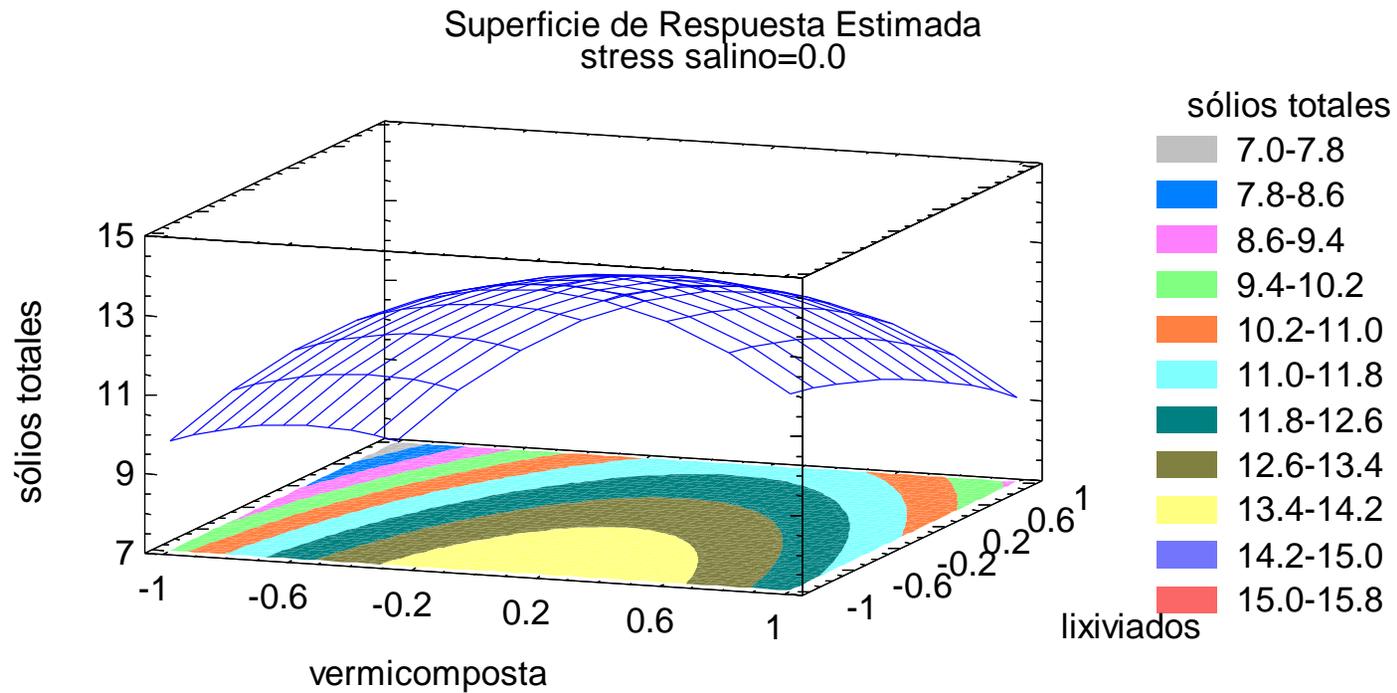


Figura 14.- Superficie de Respuesta Estimada para Sólidos Totales

3.7.5 Peso fresco de tubérculos de papa

En el cuadro 12 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	25.9444	1.70508	
A:vermicomposta+bloque	2.4	2.08829	1.0
B:lixiviados+bloque	0.283333	2.08829	1.0
C:stress salino+bloque	-1.08333	2.08829	1.0
AA+bloque	-14.0361	3.07388	1.01111
AB	0.0166667	2.95329	1.0
AC	-10.75	2.95329	1.0
BB+bloque	-7.83611	3.07388	1.01111
BC+bloque	4.61667	2.95329	1.0
CC+bloque	5.79722	3.07388	1.01111
bloque	1.11111	2.15677	1.33333
bloque	0.484444	2.15677	1.33333

Cuadro 12.- Efectos estimados para Peso Fresco de papa

3.7.5.1 Análisis de Varianza para Peso Fresco de papa

El cuadro 13 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 59.94%. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que AA, AC y BB, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	34.56	1	34.56	1.32	0.2587
B:lixiviados+bloque	0.481667	1	0.481667	0.02	0.8929
C:stress salino+bloque	7.04167	1	7.04167	0.27	0.6074
AA+bloque	545.573	1	545.573	20.85	0.0001
AB	0.000833333	1	0.000833333	0.00	0.9955
AC	346.688	1	346.688	13.25	0.0009
BB+bloque	170.044	1	170.044	6.50	0.0156
BC+bloque	63.9408	1	63.9408	2.44	0.1275
CC+bloque	93.0677	1	93.0677	3.56	0.0681
bloques	15.0564	2	7.52822	0.29	0.7518
Error total	863.467	33	26.1657		
Total (corr.)	2155.63	44			

Cuadro 13.- Análisis de varianza para Peso Fresco de papa

3.7.5.2 Coeficiente de regresión para Peso Fresco de papa

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$P \text{ fresco} = 25.9444 + 1.2*\text{vermicomposta} + 0.141667*\text{lixiviados} - 0.541667*\text{stress salino} - 7.01806*\text{vermicomposta}^2 + 0.00833333*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} - 5.375*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} - 3.91806*\text{lixiviados}^2 + 2.30833*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 2.89861*\text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en la producción de los tubérculos de papa, que se ven reflejados en los datos de Peso Fresco de tubérculos de papa. Los que obtenemos, al observar la Figura 15, es que los factores vermicomposta, junto con el estrés salino, tienen un claro efecto sobre el Peso Fresco (retención de humedad). Tanto así, que, al disminuir la concentración de esos factores se ve elevados los valores de Peso Fresco, y no existe cambio significativo que si se disminuyera cualquier otro factor independiente.

Diagrama de Pareto Estandarizada para P fresco

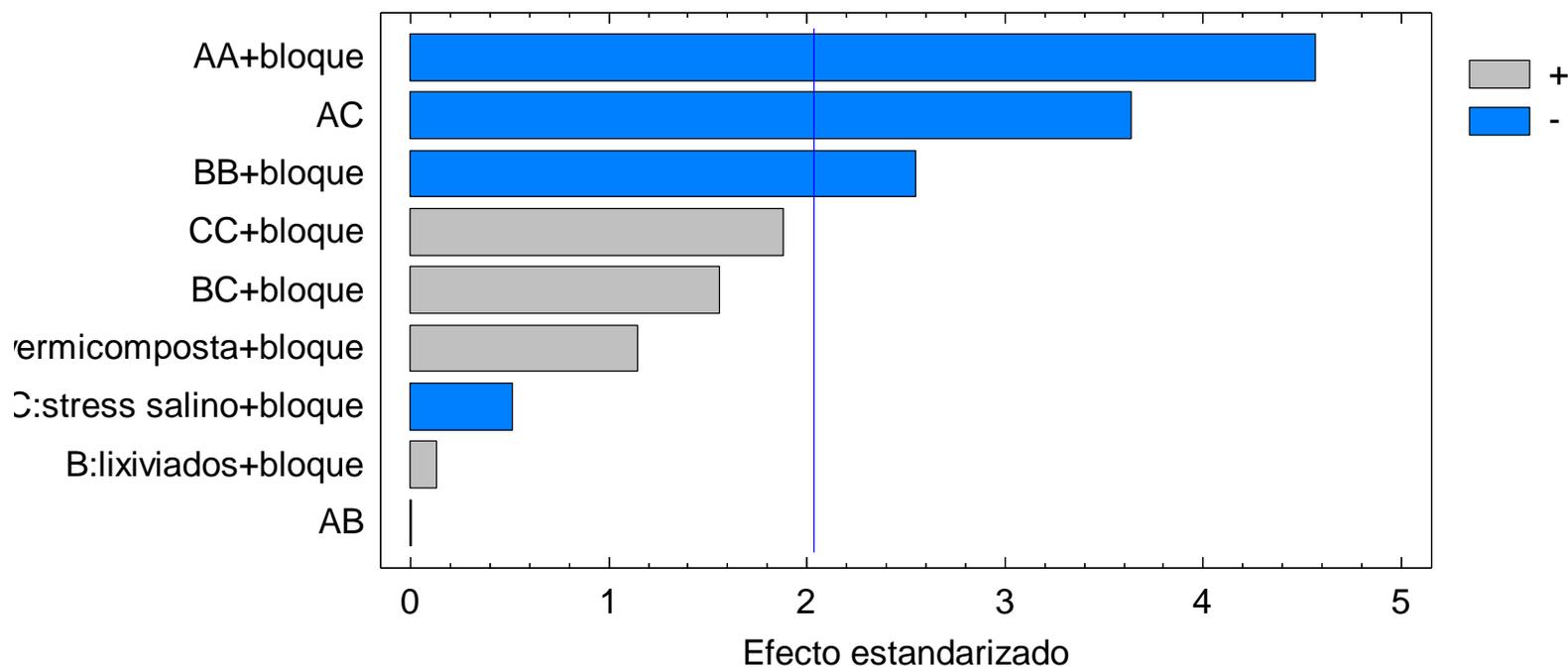


Figura 15.- Diagrama de Pareto para Peso Fresco de tubérculos de papa

3.6.5.4 Superficie de Respuesta Estimada para Peso Fresco de tubérculos

En la Figura 16, se observan los resultados estimados de Peso Fresco de papa, que significa la retención de agua libre. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

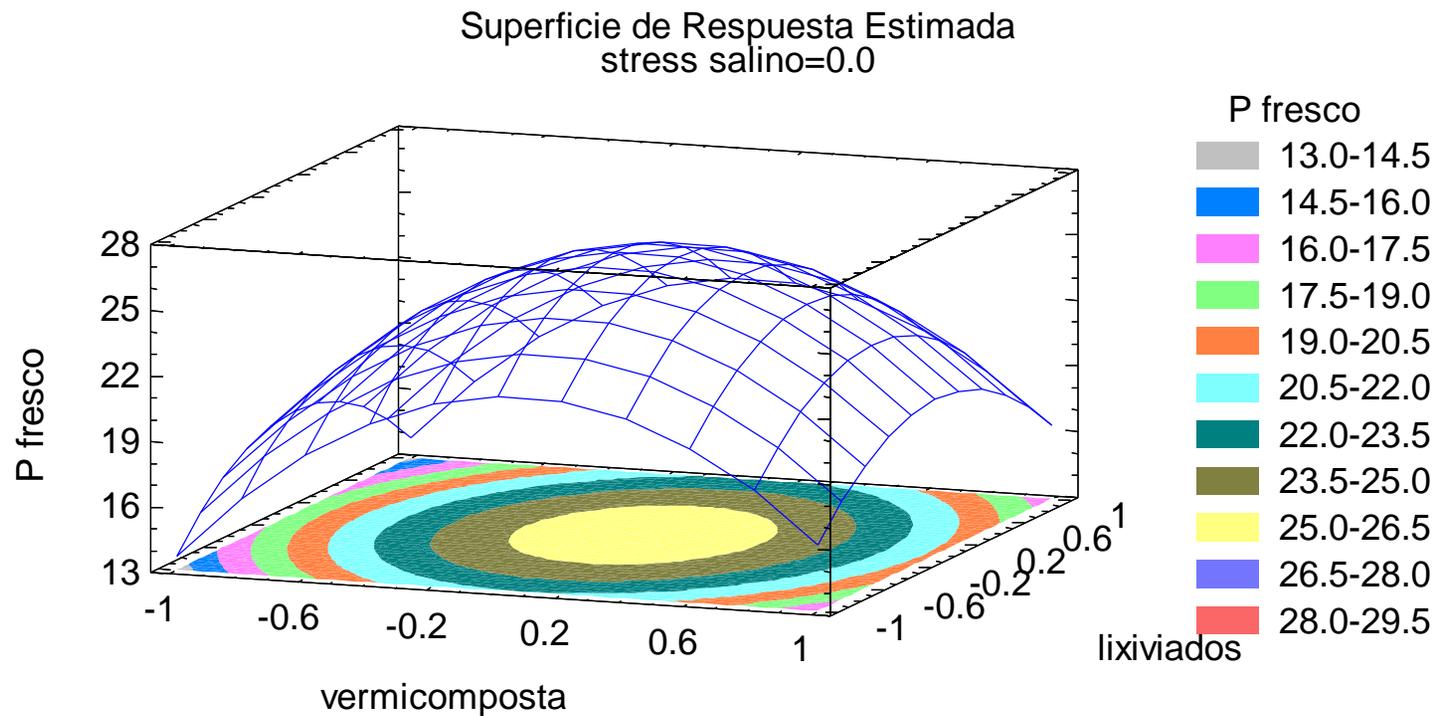


Figura 16.- Superficie de Respuesta Estimada de Peso Fresco de papa

3.7.6 Peso Seco del tubérculo de papa (tubérculos deshidratados)

En el cuadro 14 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	12.8333	1.85497	
A:vermicomposta+bloque	0.275	2.27186	1.0
B:lixiviados+bloque	3.06667	2.27186	1.0
C:stress salino+bloque	2.125	2.27186	1.0
AA+bloque	-7.61667	3.34409	1.01111
AB	0.0833333	3.21289	1.0
AC	1.3	3.21289	1.0
BB+bloque	-7.0	3.34409	1.01111
BC+bloque	3.08333	3.21289	1.0
CC+bloque	0.316667	3.34409	1.01111
bloque	2.29333	2.34637	1.33333
bloque	1.49333	2.34637	1.33333

Cuadro 14.- Efectos estimados para Peso Seco de tubérculos de papa

3.7.6.1 Análisis de Varianza para Peso Seco de tubérculos de papa

El cuadro 15 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 31.95%. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que AA y BB, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	0.45375	1	0.45375	0.01	0.9044
B:lixiviados+bloque	56.4267	1	56.4267	1.82	0.1863
C:stress salino+bloque	27.0937	1	27.0937	0.87	0.3564
AA+bloque	160.653	1	160.653	5.19	0.0294
AB	0.0208333	1	0.0208333	0.00	0.9795
AC	5.07	1	5.07	0.16	0.6884
BB+bloque	135.692	1	135.692	4.38	0.0441
BC+bloque	28.5208	1	28.5208	0.92	0.3442
CC+bloque	0.277692	1	0.277692	0.01	0.9251
bloques	81.856	2	40.928	1.32	0.2805
Error total	1021.95	33	30.9681		
Total (corr.)	1501.83	44			

Cuadro 15.- Análisis de Varianza para Peso Seco de tubérculos de papa

3.6.6.3 Coeficiente de regresión para Peso Seco de tubérculos de papa

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$p \text{ seco} = 12.8333 + 0.1375*\text{vermicomposta} + 1.53333*\text{lixiviados} + 1.0625*\text{stress salino} - 3.80833*\text{vermicomposta}^2 + 0.0416667*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} + 0.65*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} - 3.5*\text{lixiviados}^2 + 1.54167*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 0.158333*\text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en la producción de los tubérculos de papa, que se ven reflejados en los datos de Peso Seco de tubérculos de papa.

Los que obtenemos al observar la Figura 17, es que los factores vermicomposta, junto con el lixiviado, tienen un claro efecto sobre el Peso Seco (pérdida de humedad). Tanto así que, al disminuir la concentración de esos factores, se ven elevados los valores de Peso Seco, y no existe cambio significativo que si se disminuyera cualquier otro factor independiente, al contrario, se necesita que se aumenten los valores.

Diagrama de Pareto Estandarizada para p seco

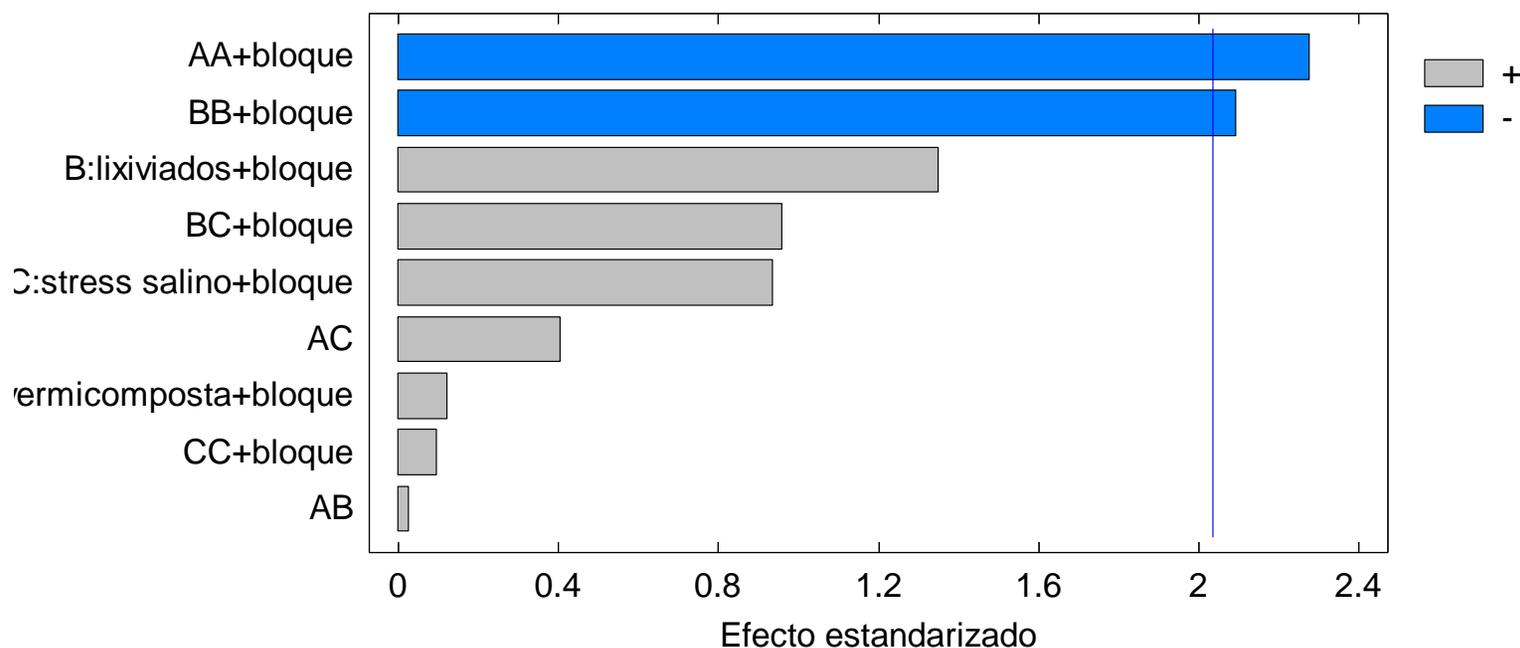


Figura 17.- Diagrama de Pareto para Peso Seco de tubérculos de papa

3.7.6.3 Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa

En la Figura 18, se observan los resultados estimados de Peso Seco de tubérculos papa, que significa la deshidratación del tubérculo. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

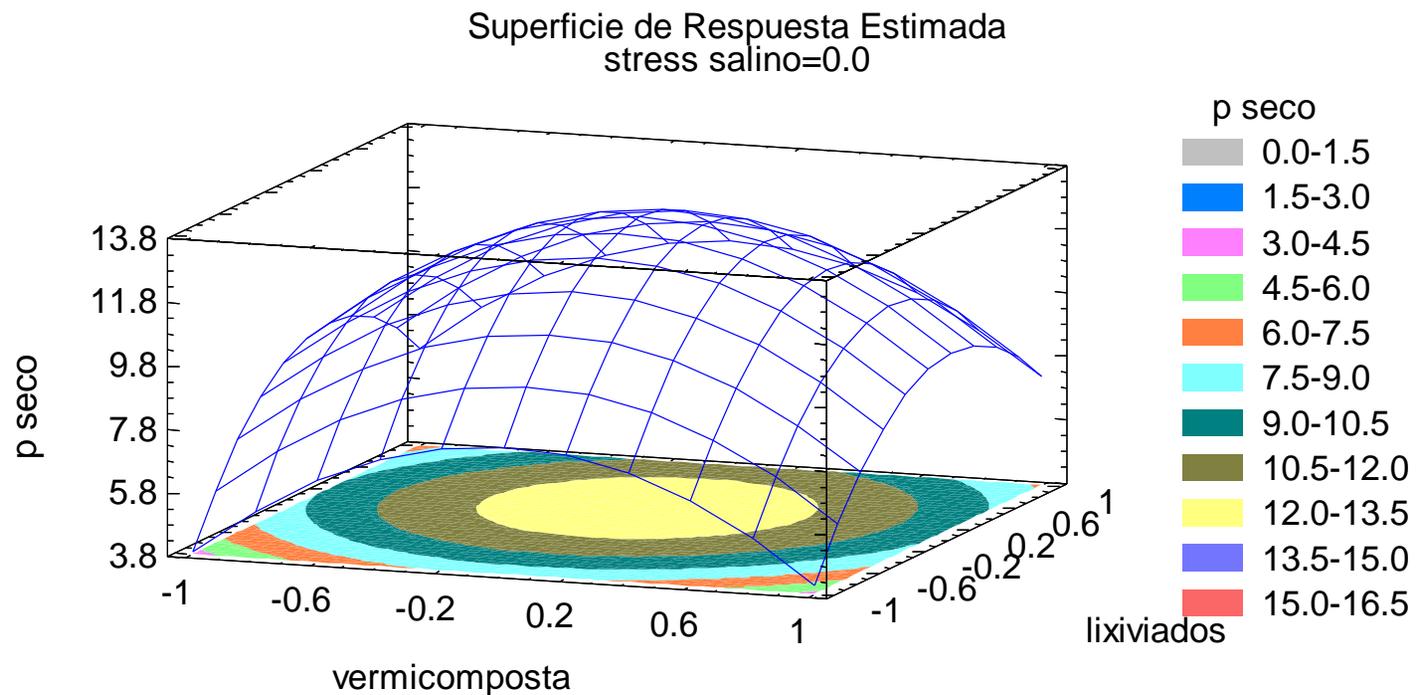


Figura 18.- Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa

3.7.7 Altura de planta de papa

En el cuadro 16 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	38.6667	0.848261	
A:vermicomposta+bloque	3.75	1.0389	1.0
B:lixiviados+bloque	3.83333	1.0389	1.0
C:stress salino+bloque	0.583333	1.0389	1.0
AA+bloque	-2.0	1.52922	1.01111
AB	0.833333	1.46923	1.0
AC	1.33333	1.46923	1.0
BB+bloque	5.16667	1.52922	1.01111
BC+bloque	1.16667	1.46923	1.0
CC+bloque	12.0	1.52922	1.01111
bloque	-1.28889	1.07298	1.33333
bloque	1.37778	1.07298	1.33333

Cuadro 16.- Efectos estimados para altura de planta de papa

3.7.7.1 Análisis de Varianza para la altura de planta de papa

El cuadro 17 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 76.02%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que A, B, BB y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	84.375	1	84.375	13.03	0.0010
B:lixiviados+bloque	88.1667	1	88.1667	13.61	0.0008
C:stress salino+bloque	2.04167	1	2.04167	0.32	0.5783
AA+bloque	11.0769	1	11.0769	1.71	0.2000
AB	2.08333	1	2.08333	0.32	0.5744
AC	5.33333	1	5.33333	0.82	0.3707
BB+bloque	73.9231	1	73.9231	11.42	0.0019
BC+bloque	4.08333	1	4.08333	0.63	0.4328
CC+bloque	398.769	1	398.769	61.58	0.0000
bloques	13.3778	2	6.68889	1.03	0.3672
Error total	213.706	33	6.47593		
Total (corr.)	891.244	44			

Cuadro 17.- Análisis de varianza para altura de planta de papa

3.7.7.2 Coeficiente de regresión de altura de planta de papa

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\text{Altura de planta} = 38.6667 + 1.875*\text{vermicomposta} + 1.91667*\text{lixiviados} + 0.291667*\text{stress salino} - 1.0*\text{vermicomposta}^2 + 0.416667*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} + 0.666667*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} + 2.58333*\text{lixiviados}^2 + 0.583333*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 6.0*\text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en el crecimiento de la planta de papa.

Los que obtenemos al observar la Figura 19, es que los tres factores independientes tienen un efecto muy importante sobre el desarrollo de la planta de papa, en especial su crecimiento. A mayor concentración de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, mayor será el crecimiento de la planta

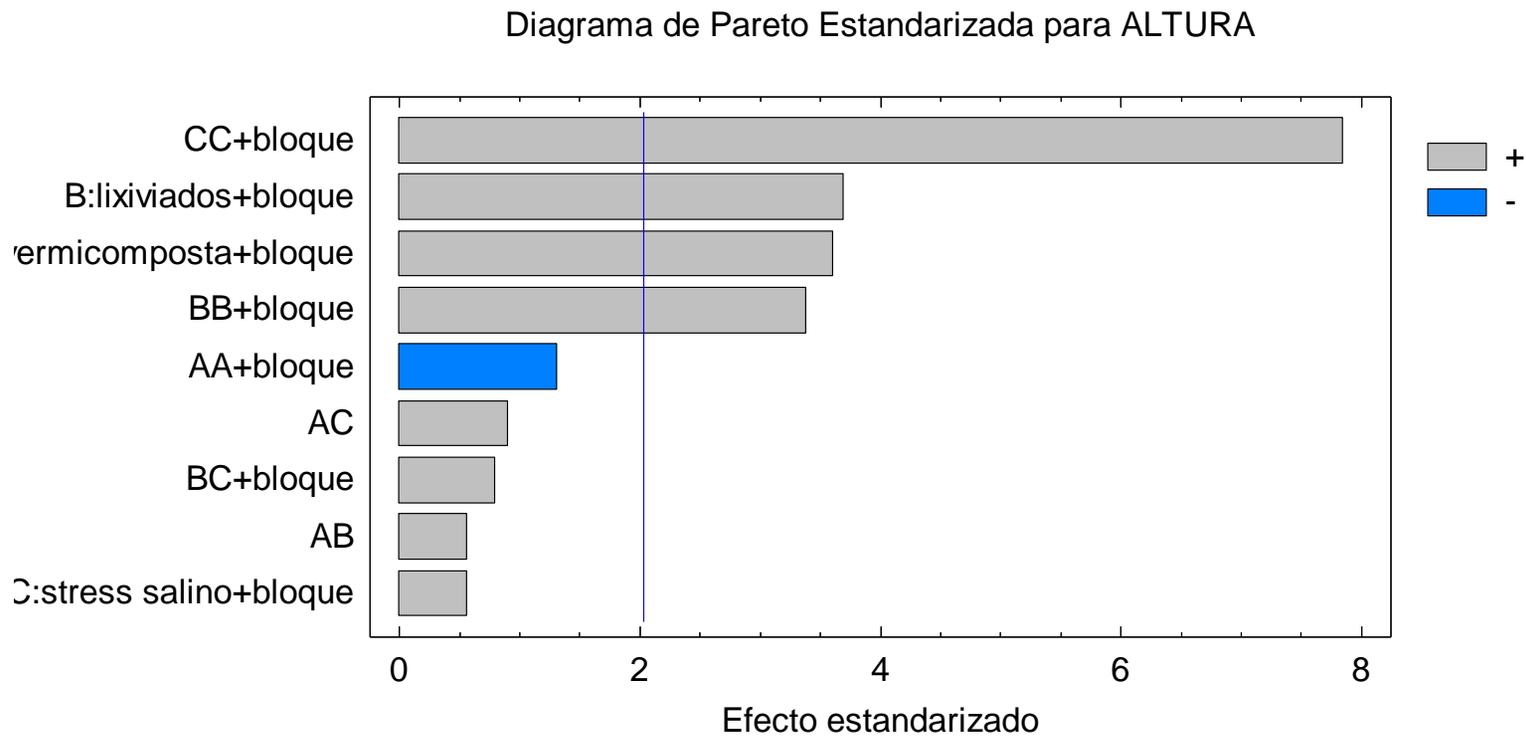


Figura 19.- Diagrama de Pareto para altura de la planta de papa

3.7.7.3 Superficie de Respuesta Estimada para altura de planta de papa

En la gráfica se observan los resultados estimados de altura de la planta de papa. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

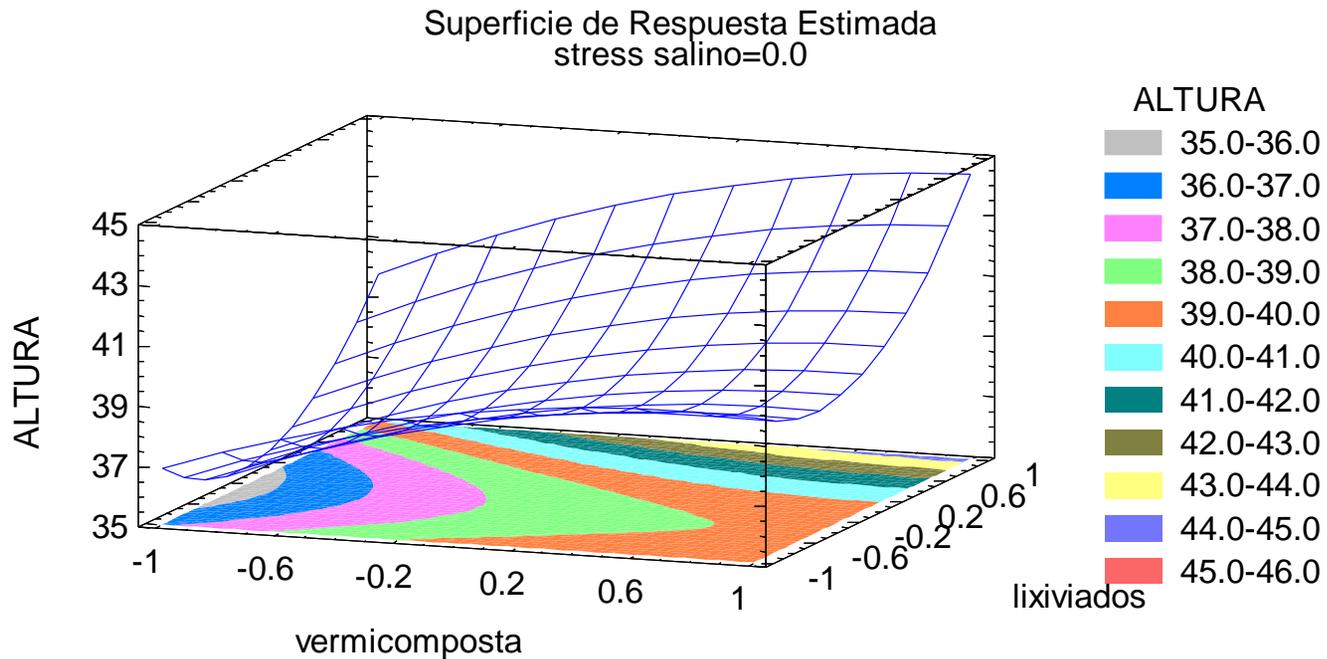


Figura 20.- Superficie de Respuesta Estimada para altura de la planta de papa

3.7.8 Diámetro del tallo

En el cuadro 18 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	0.655556	0.0134493	
A:vermicomposta+bloque	0.0416667	0.0164719	1.0
B:lixiviados+bloque	0.0583333	0.0164719	1.0
C:stress salino+bloque	0.0	0.0164719	1.0
AA+bloque	0.00277778	0.024246	1.01111
AB	-0.0166667	0.0232948	1.0
AC	0.0333333	0.0232948	1.0
BB+bloque	0.0694444	0.024246	1.01111
BC+bloque	0.0	0.0232948	1.0
CC+bloque	0.119444	0.024246	1.01111
bloque	-0.0133333	0.0170121	1.33333
bloque	0.04	0.0170121	1.33333

Cuadro 18.- Efectos estimados para diámetro del tallo

3.7.8.1 Análisis de varianza para Diámetro del tallo

El cuadro 19 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 63.70%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que A, B, BB y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	0.0104167	1	0.0104167	6.40	0.0164
B:lixiviados+bloque	0.0204167	1	0.0204167	12.54	0.0012
C:stress salino+bloque	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
AA+bloque	0.0000213675	1	0.0000213675	0.01	0.9095
AB	0.000833333	1	0.000833333	0.51	0.4794
AC	0.00333333	1	0.00333333	2.05	0.1619
BB+bloque	0.0133547	1	0.0133547	8.20	0.0072
BC+bloque	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
CC+bloque	0.0395085	1	0.0395085	24.27	0.0000
bloques	0.00933333	2	0.00466667	2.87	0.0711
Error total	0.0537222	33	0.00162795		
Total (corr.)	0.148	44			

Cuadro 19.- Análisis de Varianza para Diámetro del tallo

3.7.8.2 Coeficiente de regresión para Diámetro del tallo

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro del tallo} = & 0.655556 + 0.0208333*\text{vermicomposta} + \\ & 0.0291667*\text{lixiviados} + 0.0*\text{stress salino} + 0.00138889*\text{vermicomposta}^2 - \\ & 0.00833333*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} + 0.0166667*\text{vermicomposta}*\text{stress} \\ & \text{salino} + 0.0347222*\text{lixiviados}^2 + 0.0*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + \\ & 0.0597222*\text{stress salino}^2. \end{aligned}$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en el Diámetro del tallo.

Los que obtenemos al observar la Figura 21, es que los tres factores independientes tienen un efecto muy importante sobre el desarrollo de la planta de papa, en especial el diámetro de la papa. A mayor concentración de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, mayor será el diámetro del tallo.

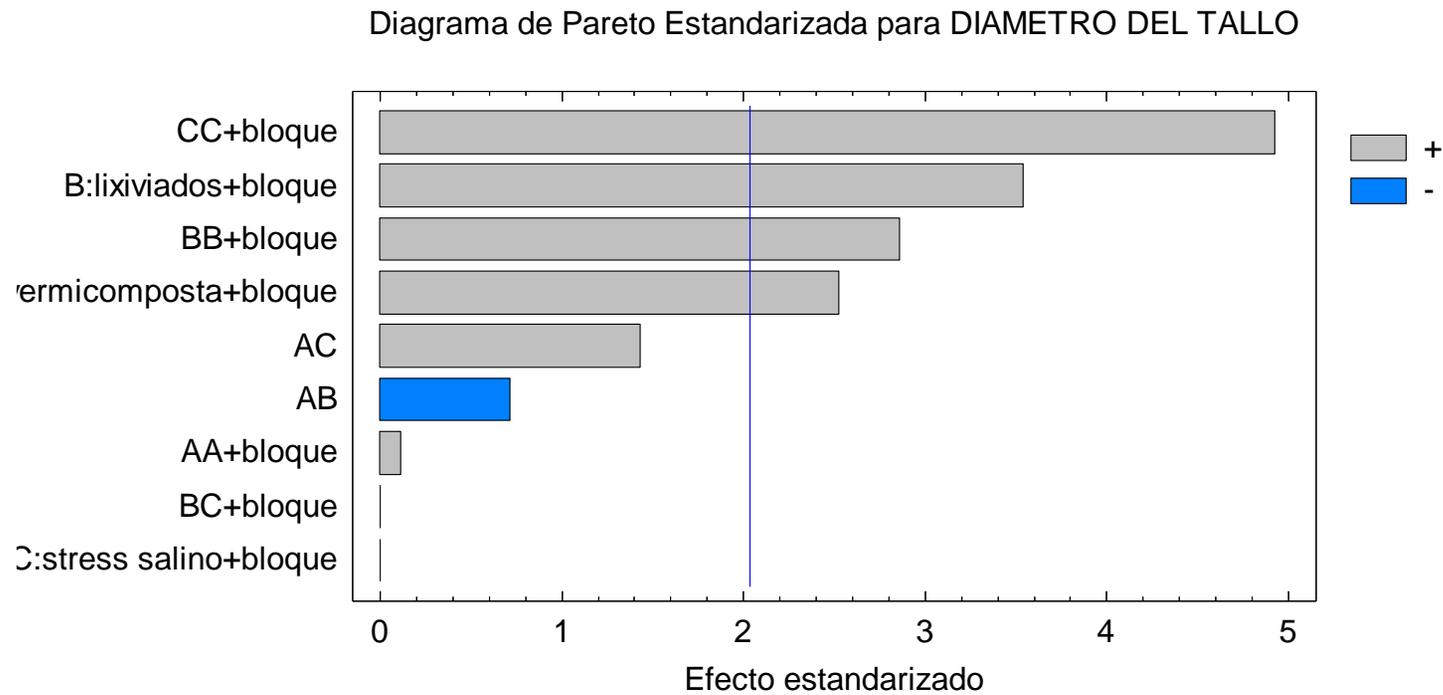


Figura 21.- Diagrama de Pareto para Diámetro del tallo

3.7.8.3 Superficie de Respuesta Estimada para diámetro del tallo

En la Figura 22 se observan los resultados estimados de Diámetro del tallo. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

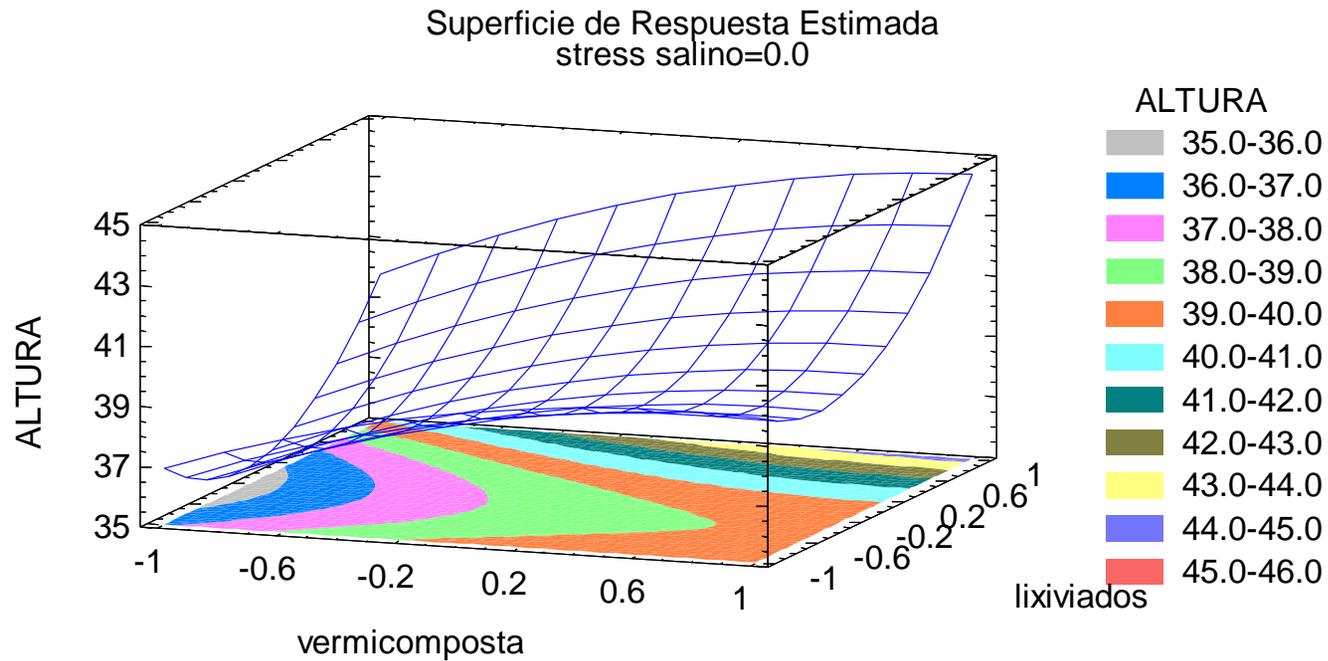


Figura 22.- Superficie de Respuesta Estimada para el Diámetro del tallo

3.7.9 Peso Fresco de la planta de papa

En el cuadro 20 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	78.0	1.85773	
A:vermicomposta+bloque	7.83333	2.27525	1.0
B:lixiviados+bloque	8.0	2.27525	1.0
C:stress salino+bloque	1.16667	2.27525	1.0
AA+bloque	-5.0	3.34908	1.01111
AB	1.0	3.21769	1.0
AC	2.66667	3.21769	1.0
BB+bloque	9.33333	3.34908	1.01111
BC+bloque	2.33333	3.21769	1.0
CC+bloque	23.6667	3.34908	1.01111
bloque	-2.66667	2.34987	1.33333
bloque	4.0	2.34987	1.33333

Cuadro 20.- Datos Estimados para Peso Fresco de planta

3.7.9.1 Análisis de Varianza para Peso Fresco de la planta

El cuadro 21 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 72.88%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que A, B, BB y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	368.167	1	368.167	11.85	0.0016
B:lixiviados+bloque	384.0	1	384.0	12.36	0.0013
C:stress salino+bloque	8.16667	1	8.16667	0.26	0.6115
AA+bloque	69.2308	1	69.2308	2.23	0.1450
AB	3.0	1	3.0	0.10	0.7579
AC	21.3333	1	21.3333	0.69	0.4132
BB+bloque	241.231	1	241.231	7.77	0.0088
BC+bloque	16.3333	1	16.3333	0.53	0.4735
CC+bloque	1551.08	1	1551.08	49.94	0.0000
bloques	93.3333	2	46.6667	1.50	0.2374
Error total	1025.0	33	31.0606		
Total (corr.)	3779.2	44			

Cuadro 21.- Análisis de Varianza para Peso Fresco de la planta

3.7.9.2 Coeficiente de regresión para Peso Fresco de la planta

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\text{PESO FRESCO DE LA PLANTA} = 78.0 + 3.91667*\text{vermicomposta} + 4.0*\text{lixiviados} + 0.583333*\text{stress salino} - 2.5*\text{vermicomposta}^2 + 0.5*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} + 1.33333*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} + 4.66667*\text{lixiviados}^2 + 1.16667*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 11.8333*\text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en el Peso Fresco de la planta.

Los que obtenemos al observar la Figura 23, es que los tres factores independientes tienen un efecto muy importante sobre el desarrollo de la planta de papa, esto se ve reflejado en los datos de Peso Fresco de la planta. A mayor concentración de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, irán en aumento los datos de Peso Fresco.

Diagrama de Pareto Estandarizada para PESO FRESCO DE LA PLANTA

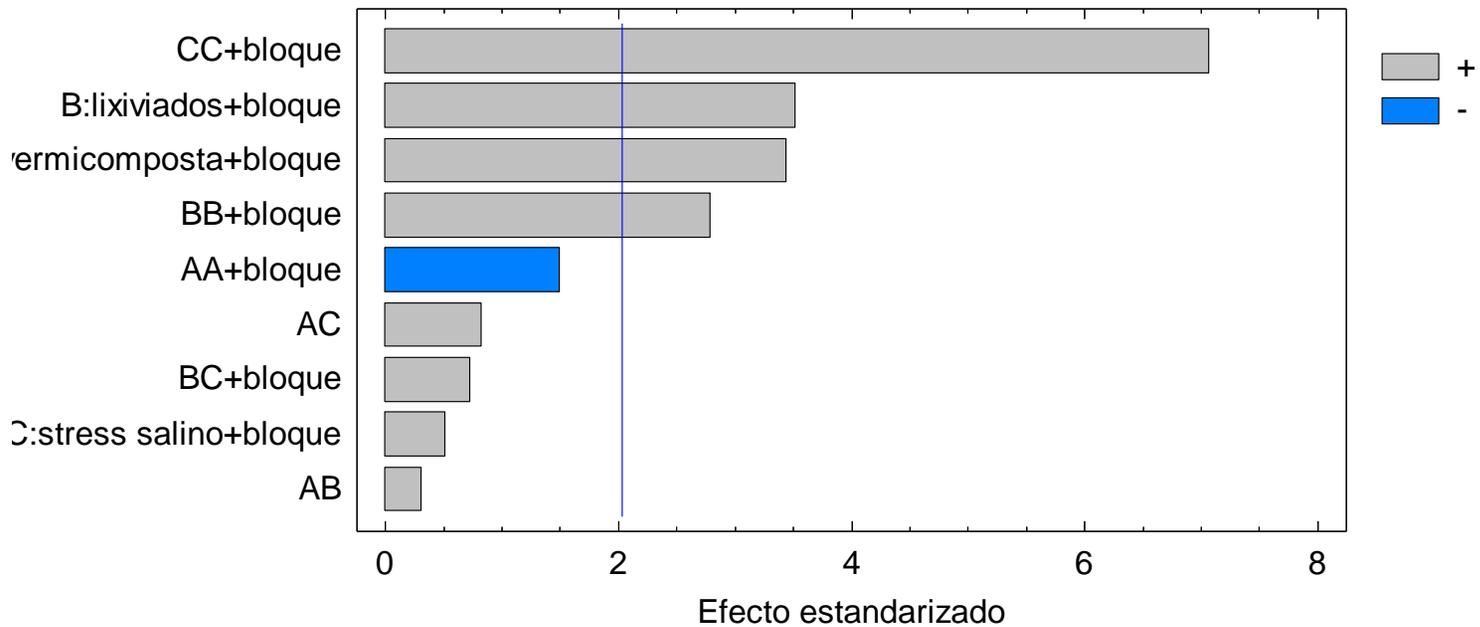


Figura 23.- Diagrama de Pareto para Peso Fresco de la planta

3.7.9.3 Superficie de Respuesta Estimada para Peso Fresco de la planta

En la Figura 24 se observan los resultados estimados de Peso Fresco de la planta. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

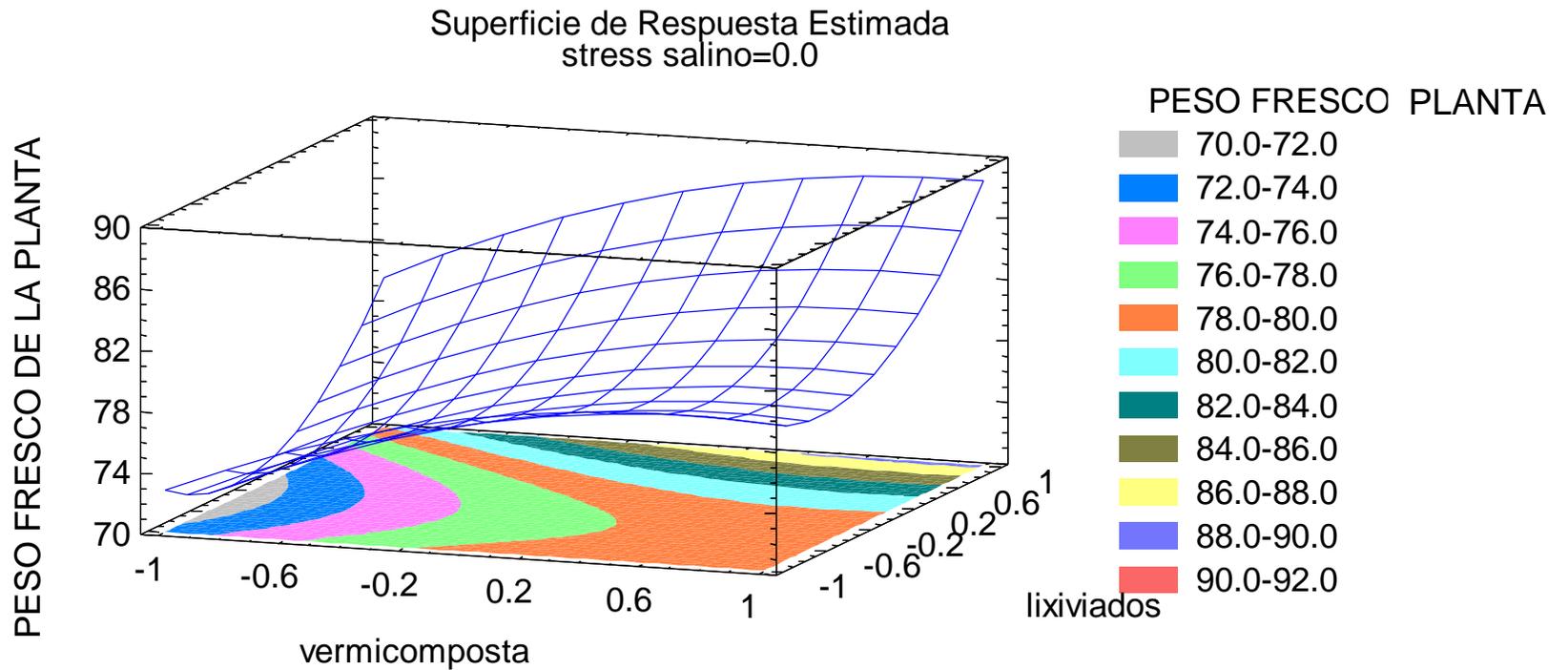


Figura 24.- Superficie de Respuesta Estimada para el Peso Fresco de la planta

3.7.10 Peso Seco de la planta de papa

En el cuadro 22 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	67.0	1.85773	
A:vermicomposta+bloque	7.83333	2.27525	1.0
B:lixiviados+bloque	8.0	2.27525	1.0
C:stress salino+bloque	1.16667	2.27525	1.0
AA+bloque	-5.0	3.34908	1.01111
AB	1.0	3.21769	1.0
AC	2.66667	3.21769	1.0
BB+bloque	9.33333	3.34908	1.01111
BC+bloque	2.33333	3.21769	1.0
CC+bloque	23.6667	3.34908	1.01111
bloque	-2.66667	2.34987	1.33333
bloque	4.0	2.34987	1.33333

Cuadro 22.- Efectos Estimados para Peso Seco de la planta

3.7.10.1 Análisis de Varianza de Peso Seco de la planta

El cuadro 23 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 72.88%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que A, B, BB Y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	368.167	1	368.167	11.85	0.0016
B:lixiviados+bloque	384.0	1	384.0	12.36	0.0013
C:stress salino+bloque	8.16667	1	8.16667	0.26	0.6115
AA+bloque	69.2308	1	69.2308	2.23	0.1450
AB	3.0	1	3.0	0.10	0.7579
AC	21.3333	1	21.3333	0.69	0.4132
BB+bloque	241.231	1	241.231	7.77	0.0088
BC+bloque	16.3333	1	16.3333	0.53	0.4735
CC+bloque	1551.08	1	1551.08	49.94	0.0000
bloques	93.3333	2	46.6667	1.50	0.2374
Error total	1025.0	33	31.0606		
Total (corr.)	3779.2	44			

Cuadro 23.- Análisis de Varianza para Peso Seco de la planta

3.6.10.3 Coeficiente de Regresión para Peso Seco de la planta

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\text{PESO SECO DE LA PLANTA} = 67.0 + 3.91667 \cdot \text{vermicomposta} + 4.0 \cdot \text{lixiviados} + 0.583333 \cdot \text{stress salino} - 2.5 \cdot \text{vermicomposta}^2 + 0.5 \cdot \text{vermicomposta} \cdot \text{lixiviados} + 1.33333 \cdot \text{vermicomposta} \cdot \text{stress salino} + 4.66667 \cdot \text{lixiviados}^2 + 1.16667 \cdot \text{lixiviados} \cdot \text{stress salino} + 11.8333 \cdot \text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en el Peso Seco de la planta.

Los que obtenemos al observar la Figura 25, es que los tres factores independientes tienen un efecto muy importante sobre el desarrollo de la planta de papa, esto se ve reflejado en los datos de Peso Fresco de la planta. A mayor concentración de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, irán en aumento los datos de Peso Seco.

Diagrama de Pareto Estandarizada para PESO SECO DE LA PLANTA

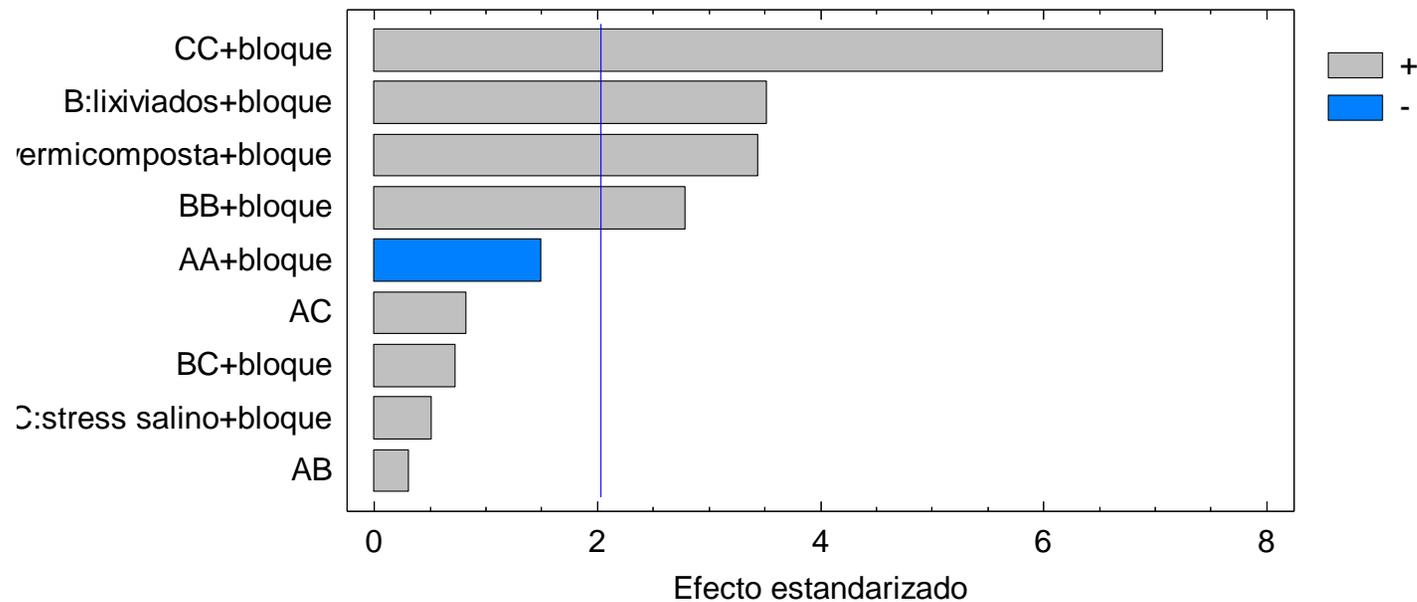


Figura 25.- Diagrama de Pareto para Peso Seco de la planta

3.7.10.3 Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de la planta

En la Figura 26 se observan los resultados estimados de Peso Seco de la planta. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

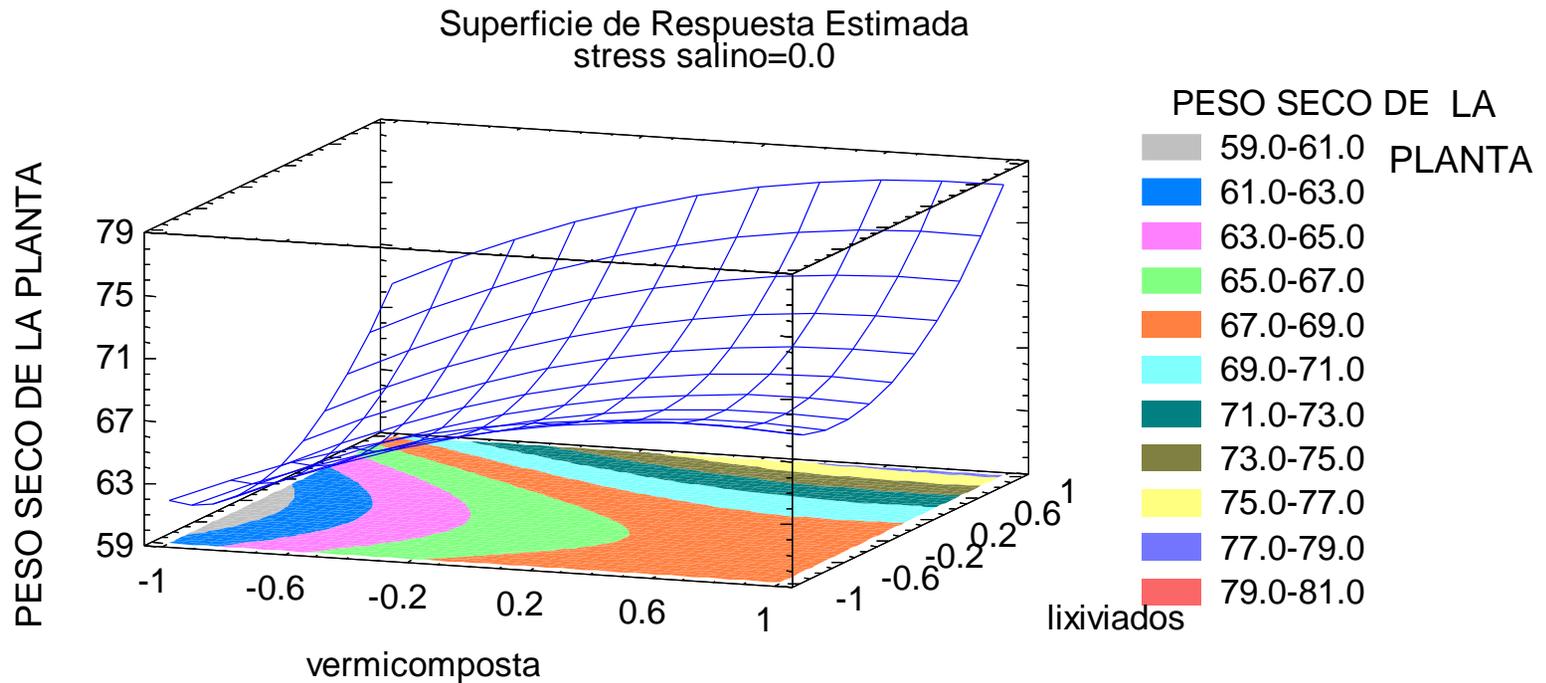


Figura 26.- Superficie de Respuesta Estimada para el Peso Seco de la planta

3.7.11 Peso de los tubérculos de papa

En el cuadro 24 se muestran los valores para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. Se puede observar que los valores de Error Estándar no varían entre sí con significancia, lo cual significa, que la diferencia entre el valor de cada muestra no es relevante. En cuanto a los valores de V.I.F., se considera que el diseño experimental es un diseño ortogonal ya que valores por arriba de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	57.7778	1.40619	
A:vermicomposta+bloque	5.625	1.72223	1.0
B:lixiviados+bloque	6.08333	1.72223	1.0
C:stress salino+bloque	0.875	1.72223	1.0
AA+bloque	-2.77778	2.53505	1.01111
AB	0.583333	2.4356	1.0
AC	2.0	2.4356	1.0
BB+bloque	7.97222	2.53505	1.01111
BC+bloque	1.75	2.4356	1.0
CC+bloque	18.2222	2.53505	1.01111
bloque	-1.84444	1.77871	1.33333
bloque	2.82222	1.77871	1.33333

Cuadro 24.- Efectos Estimados para Peso de las papas

3.7.11.1 Análisis de Varianza para Peso de papas

El cuadro 25 demuestra la variabilidad de Sólidos Totales en piezas separadas para cada uno de los efectos. Muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental mostrando una r^2 de 72.98%. En este caso, 4 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que A, B, BB y CC, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:vermicomposta+bloque	189.844	1	189.844	10.67	0.0025
B:lixiviados+bloque	222.042	1	222.042	12.48	0.0012
C:stress salino+bloque	4.59375	1	4.59375	0.26	0.6148
AA+bloque	21.3675	1	21.3675	1.20	0.2811
AB	1.02083	1	1.02083	0.06	0.8122
AC	12.0	1	12.0	0.67	0.4175
BB+bloque	176.002	1	176.002	9.89	0.0035
BC+bloque	9.1875	1	9.1875	0.52	0.4775
CC+bloque	919.521	1	919.521	51.67	0.0000
bloques	46.2111	2	23.1056	1.30	0.2866
Error total	587.282	33	17.7964		
Total (corr.)	2172.48	44			

Cuadro 25.- Análisis de Varianza para Peso de las papas

3.7.11.2 Coeficiente de Regresión para Peso de papas

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos es:

$$\text{PESO DE LAS PAPAS} = 57.7778 + 2.8125*\text{vermicomposta} + 3.04167*\text{lixiviados} + 0.4375*\text{stress salino} - 1.38889*\text{vermicomposta}^2 + 0.291667*\text{vermicomposta}*\text{lixiviados} + 1.0*\text{vermicomposta}*\text{stress salino} + 3.98611*\text{lixiviados}^2 + 0.875*\text{lixiviados}*\text{stress salino} + 9.11111*\text{stress salino}^2$$

A continuación, el Diagrama de Pareto muestra los principales factores independientes que actúan significativamente en la producción de los tubérculos de papa, que se ven reflejados en los datos de Peso de tubérculos de papa al momento de ser cosechados.

Los que obtenemos al observar la Figura 27, es que los factores vermicomposta, junto con el lixiviado, tienen un claro efecto sobre el Peso de los tubérculos de papa. Tanto así que, al aumentar la concentración de esos factores, se ven elevados los valores de Peso de los tubérculos.

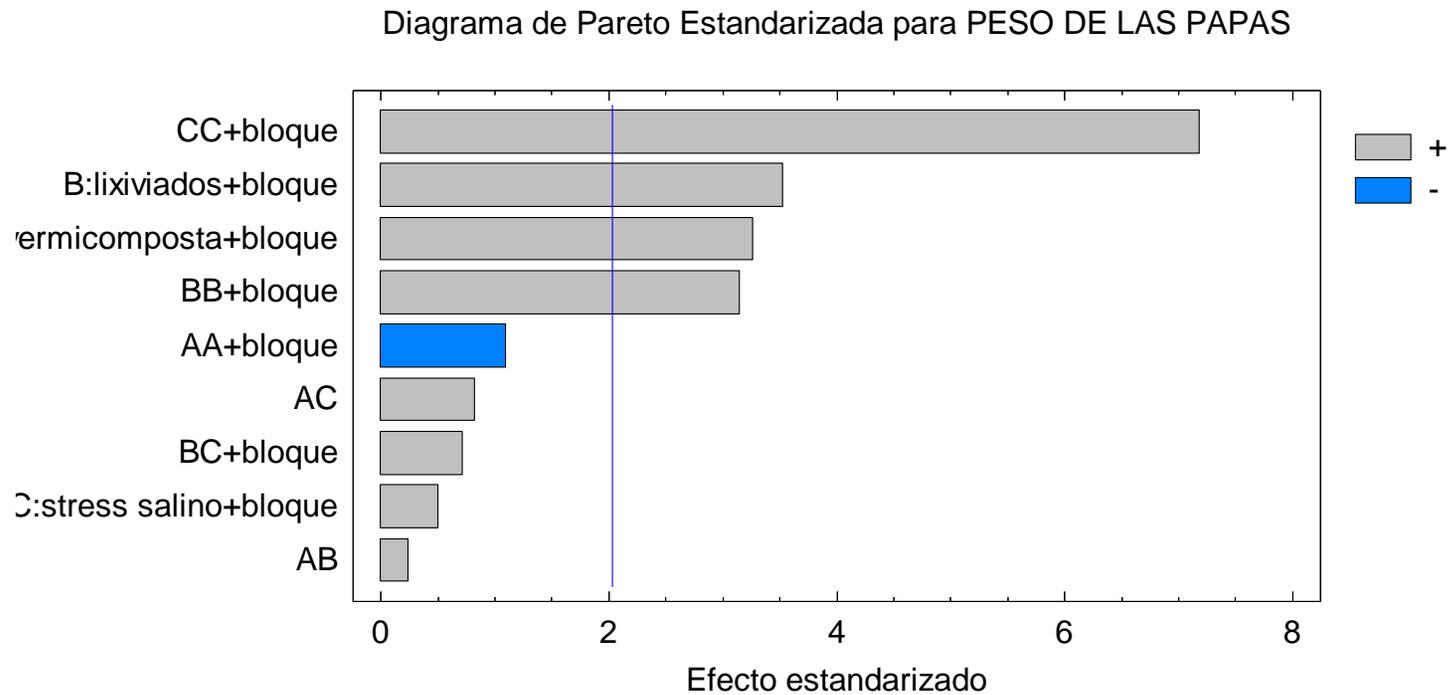


Figura 27.- Diagrama de Pareto para Peso de tubérculos de papa

3.7.11.3 Superficie de Respuesta Estimada para Peso de tubérculos de papa

En la Figura 28, se observan los resultados estimados de Peso de tubérculos papa, que significa la deshidratación del tubérculo. La gráfica expresa valores para cada una de las combinaciones de los factores: vermicomposta y lixiviados de vermicomposta, señalando la mejor respuesta esperada.

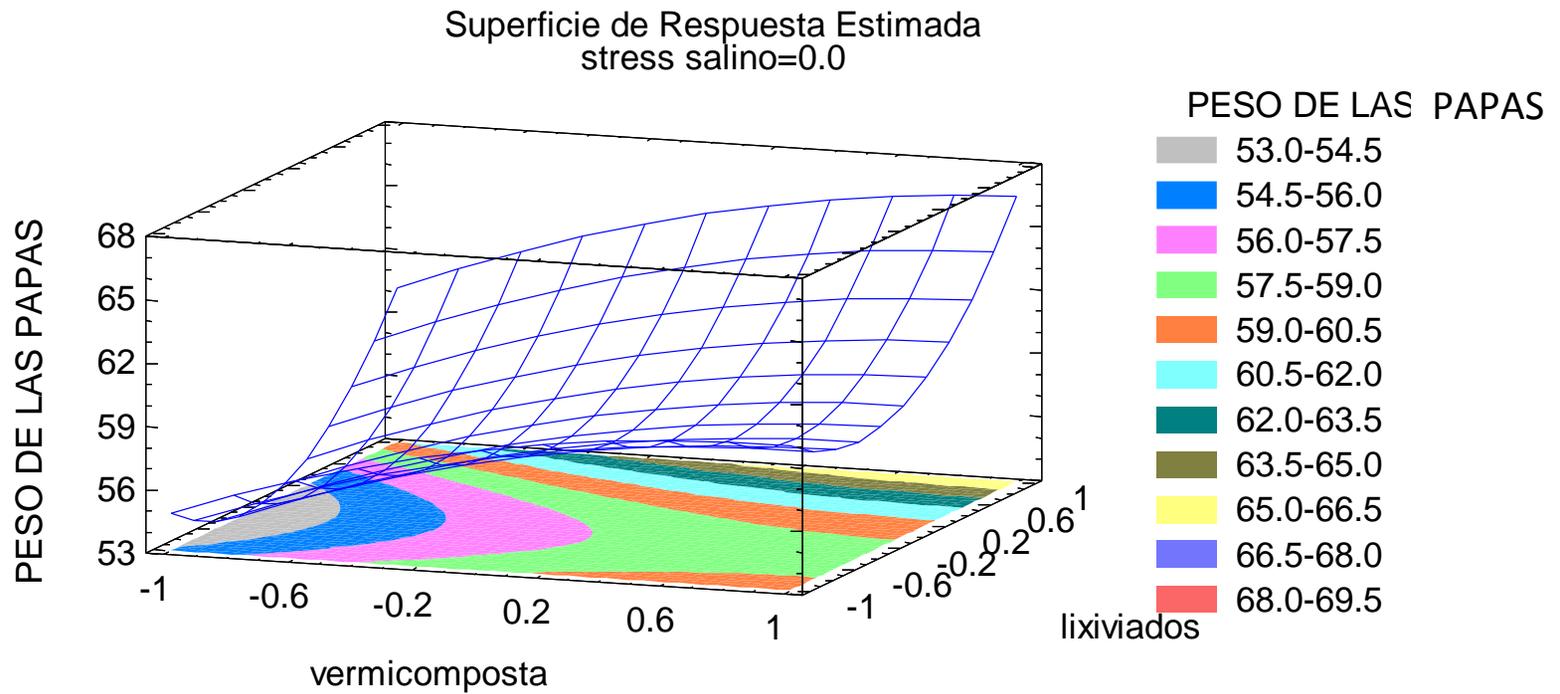


Figura 28.- Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa

4. DISCUSIÓN

4.1 pH

Como se cita en las características del crecimiento de la planta de papa (Capítulo II), la planta de *Solanum tuberosum* soporta el pH ácido entre 5.5-6 del suelo, ésta circunstancia se suele dar más en los terrenos arenosos. Es considerada como una planta tolerante a la salinidad. Además, los ácidos orgánicos contribuyen con el pH característico del alimento: pH de 5.6 – 6.2 (FAO, 2008). Los más representativos son el málico, el cítrico y el clorogénico que reacciona con iones de hierro.

Tomando lo anterior y comparándolo con los resultados es posible ver que la planta del experimento se desarrolla mayor y de mejor manera en los rangos de pH como se puede observar en la gráfica 3 (Superficie de Respuesta Estimada de pH) y en la sección de Coeficiente de regresión para pH (4.6.1.3) se busca optimizar la respuesta minimizando el pH, el cual fue de 6.03333, coincidiendo con la cita teórica anterior.

4.2 Grados Brix

La papa es un alimento que contiene cantidades importantes de carbohidratos los cuales se encuentran mayoritariamente como almidón y un pequeño porcentaje como azúcares (sucrosa, fructosa, glucosa).

Como argumenta Pertuz (2013), en promedio, 100 gramos de papa, la porción que consume un individuo adulto contiene 20.1 g de carbohidratos (FAO), que representa el 0.2% del contenido de la papa. Revisando la bitácora donde se anotaron los valores obtenidos del Brixómetro en promedio, los valores obtenidos fueron en promedio fue de 0.4% coincidiendo significativamente en los valores según Pertuz.

4.3 Altura de la planta

En la descripción botánica (Capítulo II) se argumenta que los tallos de la planta de papa son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo, al principio erguidos y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en la yema del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.3 y 1 metro.

Comparando lo anterior con los datos obtenidos al medir las plantas de papa, se relacionan entre sí, ya que, en promedio, la longitud de los tallos de papa del proyecto es 34.56 cm, mostrando como mínimo 29 cm de longitud y como máximo 42 cm. Lo anterior coincide con lo citado en la descripción botánica de la planta de papa.

4.4 Peso de tubérculos de papa

Este segmento es muy importante porque define la producción de tubérculos de papa por plantíos sembrado. Como se menciona en el Capítulo II: la descomposición de la materia orgánica (MO) del suelo es una fuente principal de elementos nutrimentales para la planta, especialmente en los ecosistemas con baja aplicación de insumos. En consecuencia, la disponibilidad de los elementos nutrimentales en el suelo depende principalmente del proceso de descomposición (Moreno, 2006).

En este sentido, el papel que juega la vermicomposta y el lixiviado de vermicomposta, entiendo que son “catalizadores” para la obtención de nutrimentos para la planta, es muy importante. Tanta importancia juegan que, en la gráfica 23 (Superficie de Respuesta Estimada para Peso Seco de tubérculos de papa) que representa la producción neta de papa, se ve claramente que a mayor presencia de vermicomposta y lixiviado, mayor producción de papa tiene la planta presentando, hasta 69.5 g de papa y de 5 y 7 tubérculos por plantío.

6 CONCLUSIONES

Se observó que a mayor concentración de vermicomposta y lixiviados de vermicomposta obtuvimos mayor crecimiento y desarrollo de las plantas, es probable que el contenido de nutrimentos fuera mayor, y a mayor cantidad de vermicomposta la humedad se conserva por mayor tiempo, permitiendo que la temperatura sea menor.

Proporcionar los nutrimentos necesarios a la planta, por medio de agentes naturales, resulta beneficioso, no solo para las plantas sino también para el suelo mismo.

En cuanto al estrés sometido a la planta, se observó que las plantas sometidas a los tratamientos de 15, 20 y 25 mM, fueron capaces de revertir el efecto gracias a las concentraciones diferentes de lixiviado de vermicomposta y la misma vermicomposta. No se encontraron efectos del estrés durante el desarrollo de las plantas y durante el desarrollo de los tubérculos de papa.

La producción de tubérculos de papa fue muy significativa, ya que se obtuvieron plantas con 5 hasta 7 tubérculos de papa, una producción importante comparando con la producción de papa comercial, siendo de 3 a 6 tubérculos de papa por planta, aunque son de mayor tamaño.

Los análisis de pH, azúcares (sólidos solubles), conductividad eléctrica y sólidos totales, presentaron resultados muy cercanos a la referencia bibliográfica significando esto, que las plantas de papa del proyecto se desarrollaron en las condiciones más similares en control como las que se presentan en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Affenzeller, M., Dareshouri, A., Andosch, A., Lutz, C. y U. Lutz-Meindl. 2009. Salt stress-induced cell death in the unicellular green alga *Micrasterias denticulate* *J. of Experimental Bot.*, **60**: 939-954.
- Amtmann, A. y Sanders, D. 1999. Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Adv. Bot. Res.*, **29**: 75-112.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Metzger, J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* **84**: 7-14.
- Bedard, K. y Krause, K. 2007. The NOX family of ROS-regenerating NADPH oxidases: physiology and pathophysiology. *Physiol. Rev.*, **87**: 245-313.
- Blatt, M. 2002. K⁺ channels of stomatal guard cells. *J. Gen. Physiol.*, **99**: 615-644.
- Blaylock, A. 1994. Soil salinity, salt tolerance, and growth potencial of horticultural and landscape plants. University of Wyoming.
- Bohnert, H., Nelson, D. y Jensen R. 1995. Adptations to Environmental Stresses. *The Plant Experimental Bot.*, **59**: 491-499.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Facanha, A. L. and Facanha, A. R. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* **130**(4): 1951-1957.
- Calderón, J. Rodríguez Macías, R. Reines, M. González, D. Loza, J. García, J. Jiménez, C. 2010. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de lixiviados proveniente de granjas lombrícolas en Tlajomulco, Jalisco. México
- Cerrato, M.E., Leblanc, H.A., Kameko, C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. *T. Trop.* **3**: 183-197.
- Cepeda, J. M. 1992. Química de Suelos. México, Trillas.

Chen, Y. Avid, T. 1990. Effects of humic substance on plant growth. Israel, The Hebrew University of Jerusalem

Cuin, T. y Shabala, S. 2007. Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in Arabidopsis roots. *Plant, Cell and Envir.*, **30**: 875-885.

Cuin, T., Betts, S., Chalmandrier, R. y Shabala, S.. 2008. A root's ability to retain K⁺ correlates with salt tolerance in wheat. *J. of Exp. Bot.*, **59**: 2697-2706.

Demidchik, V. y Tester, M. 2002. Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from Arabidopsis roots. *Planta Physiol.*, **128**: 379-387.

Demidchik, V., Shabala, S., Coutts, K., Tester, M. y Davies, J. 2003. Free oxygen radicals regulate plasma membrane Ca²⁺ and K⁺-permeable channels in plant root cells. *J. of Cell Science*, **116**: 81-88.

Densen, T. y Wirts, K. 2001. The peroxisome in oxidative stress. *IUBMB Life*, **51**: 223-230.

Donaldson, L., Ludidi, N., Knight, M., Gehring, C. y Denby, K. 2004.. Salt and osmotic stress cause rapid increases in Arabidopsis thaliana cGMP levels. *FEBS Lett.*, **569**: 317-320.

EARTH. (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda). 1997. Ácidos Húmicos en la Agricultura.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Global network on integrated soil management for sustainable use salt affected soils. FAO Land and Plant Nutrition Management Services, Rome Italy. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2008. Las papas, la nutrición y la alimentación. <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>

Fitzpatrick, W., Boucher, S., Naidu, R. y Fritsch, E. 1994. Environmental consequences of soil sodicity. *Australian J. Soil Research*, **32**: 1069-1093.

Foreman, J., Demidchik, V. y Brothwell, J. 2003. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*, **422**: 442-446.

Grabov, A., Leung, J., Giraudat, J. y Blatt, M. 1997. Alteration of anion channel kinetics in wild-type and abi1-1 transgenic *Nicotiana benthamiana* guard cells by abscisic acid. *Plant J.*, **12**: 203-216.

Egan, H. 1991. Análisis químico de alimentos de Pearson. 4ª. Reimpresión, México, Ed. CECSA.

Hart F. L., y Fisher, H. J. 1991. Análisis modern de los alimentos. 2a. reimpression. España, Ed. Acribia.

Hasegawa, P., Bressan, R., Zhu, J. y Bohnert, H. 2000. Plant celular and molecular responses to high salinity. *Ann Rev. Palnt Physiol. Plant Mol. Biol.*, **51**: 463-499.

Hedrich, R. 1994. Voltage dependent chloride channels in plant cells. Identification, characterization and regulation of regulation of a guard cell anion channel. *Curr. Top. Membr. Trans.*, **42**: 1-33.

Hernández. D. 2002. Ambiente y ética. Lombricultura contra contaminación ambiental. En <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/106/hernandez106.htm>. Costa Rica.

Hetherington, M. 2001. Guard Cell Signaling. *Cell*, **107**: 711-714.

Hughes F. y Cidlowski, J. 1999. Potassium is a critical regulator of apoptotic enzymes in vitro and in vivo. *Advances in Enzyme Regulation*, **39**: 157-171.

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos). 2014 Servicio de Análisis Físicoquímicos de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia.

Iwata, K., Tazawa, M. y Itoh, T. 2001. Turgor pressure regulation and the orientation of cortical microtubules in Spirogyra cells. *Plant Cell Physiol*, **42**: 594-598.

Jia W, Wang Y, Zhang S, y Zhang J. 2002. Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J Exp Bot* **53**: 2201-2206

Jiang, C., Nakajima, N. y Kondo, N. 1996. Disruption of microtubules by abscisic acid in guard cells of *Vicia faba* L. *Plant and Cell Physiol.*, **37**: 697-701.

Kinoshita, T., Nishimira, M. y Shimazaki, K. 1995. Cytosolic concentration of Ca²⁺ regulates the plasma membrane H⁺-ATPase in guard cells of fava bean. *Plant Cell* **7**: 1333-1342.

Köhler, B., Hills, A. y Blatt, M. 2003. Control of guard cell ion channels by hydrogen peroxide and abscísico acid indicates their action trough alternate signaling pathways. *Plant Physiol.*, **131**: 385-388.

Kwak, J., Mori, I., Pei, Z., Loenhardt, N., Torres, M., Dangl, J., Bloom, R., Bodde, S., Jones, J. y Schroeder, J. 2003. NADPH oxidasa AtrbohD and AtrbohF genes function in ROS-dependent ABA signaling in Arabidopsis. *EMBO*, **22**: 2623-2633.

Lemichez, E., Wu, Y., y Sanchez, J. 2001. Inactivation of AtRac1 by abscisic acid is essential for stomatal closure. *Genes and Development*, **15**: 1808-1816.

Lora, R. 1994. Disponibilidad en el suelo de micronutrientes esenciales para la planta. Instituto Colombiano Agropecuario, Compendio No. 38 Medellín, Antioquia Colombia

Mahajan, S. y Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch. Biochem, Biophys.*, **444**: 139-158.

Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. Segunda Edición. London Academic Press.

Mäser, P., Thomine, S., Schroeder, J., Ward, J., Hirschi, K., Sze, H., Talke, I., Amtmann, A., Maathuis, F., Sanders, D. 2001. Phylogenetic relationships within cation transporter families of Arabidopsis. *PlantPhysiol.*, **126**: 1646-1667.

McCue, K. y Hanson, A. 1990. Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *Trends Biotechnol*, **8**: 358-362.

McInerney y Bolger, M. T., 2000. Decomposition of Quercus petraea litter: influence of burial, comminution and earthworms. *Soil Biol. Biochem.* **32**: 1989-2000.

Moreno, A. 2006. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila.

NMX-F-527-1992. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES SÓLIDOS DISUELTOS Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EN AGUA. FOODS. DETERMINATION OF TOTAL RESIDUE, FILTRABLE RESIDUES AND SUSPENDED MATTER IN WATER. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS

NMX-FF-109-SCFI-2007. AGRICULTURA. OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS A TRAVÉS DE LOMBRICULTURA, DENOMINADO HUMUS DE LOMBRIZ O LOMBRICOMPOSTA QUE REGULA SU DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO.

Pereira, M. G. and Zezzi-Arruda, M. A. 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption.

Pertuz, S. 2013. La papa (*Solanum tuberosum* L.). Composición química y valor nutricional del tubérculo. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

Piccinini, S., Bortone, G. 1991. The fertilizer value of agriculture manure: simple rapid methods of assessment. *J. Agric. Eng. Res.* **49**: 197-208.

Platten, J., Cotsaftis, O., Berthomieu, P., Bohnert, H., Devanport, R., Fairbairn, D., et al. 2006. Nomenclature for HKT transporters, key determinants of salinity tolerance. *Trends Plant Sci.*, **11**: 372-374.

Rus, A., Yokoi, S., Sharkhuu, A., Reddy, M., Lee, B., Matsumoto, T., Koiwa, H., Zhu, J., Bressan, R. y Hasegawa, P. 2002. AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **98**: 14150-14155.

SEAS. 2002. Memorias del curso. La Materia Orgánica del Suelo y sus Repercusiones Ambientales.

Sagi, M. y Fluhr, R. 2006. Production of reactive oxygen species by plant NADPH oxidases. *Plant Physiol.*, **141**: 336-340.

Sairam, R. y Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plantas. *Current Sci.*, **86**:3-10.

Schroeder, J. y Keller, B. 1992. Two types of anion channel currents in guard cells with distinct voltage regulation. *Proc Natl Acad Sci USA*, **89**: 5025-5029.

Schroeder, J., Kwak, J. y Allen, G. 2001. Guard cell abscisic acid signaling and engineering drought hardiness in plants. *Nature* **410**: 327-330.

Schulz-Lessdorf, B., Lohse, G. y Hedrich, R. 1996. GCAC1 recognizes the pH gradient across the plasma membrane: a pH-sensitive and ATP-dependent anion channel links guard cell membrane potential to acid and energy metabolism. *Plant J.* **10**: 993-1004.

Shabala, S. 2000. Ionic and osmotic components of salt stress specifically modulate net ion fluxes from bean leaf mesophyll. *Plant Cell Environ.*, **23**: 825-837.

Shabala, S., Shabala, L. y Van Volkenburgh, E. 2003. Effect of calcium on root development and root ion fluxes in salinised barley seedings. *Functional Plant Biol.*, **30**: 507-514.

Shabala, L., Cuin, T., Newman, I. y Shabala, S. 2005. Salinity-induced ion flux pattern from the excised roots of Arabidopsis sos mutants. *Plant*, **222**: 1041-1050.

Shabala, S., Demidchik, V., Shabala, L., Cuin, T., Smith, S., Miller, A., Davies, J. y Newman, I. 2006. Extracellular Ca²⁺ ameliorates NaCl-Induced K⁺ loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane K⁺-permeable channels. *Plant Physiol.*, **141**: 1653-1665.

Shabala, S. y Cuin, T. 2008. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plantarum*, **133**: 651-690.

Terranova, Enciclopedia. 2001. Producción Agrícola 2. Bogotá, Colombia. Terranova Editores

Thannickal, V. y Fanburg, B. 2000. Reactive oxygen species in cell signaling. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol Physiol.*, **279**: 1005-1028.

Trouverie, J., Vidal, G., Zhang, Z., Sirichandra, C., Madiona, K., Amiar, Z., Prioul, J., Jeannette, E., Rona, J. y Brault, M. 2008. Anion channel activation and proton pumping inhibition involved in the plasma membrane depolarization induced by ABA in Arabidopsis thaliana suspension cells both ROS dependent. *Plant and Cell Physiol.*, **49**: 1495-1507

Uribe, S. Kristal, J. Uribe, M. 2011. Evaluación de lixiviados de composta y vermicomposta de residuos agropecuarios como mecanismo de fertilización y control de enfermedades en cultivos tropicales. Universidad Politécnica del Centro. Tabasco. México.

Véry, A., Robinson, M., Mansfield, T. y Sanders, D. 1998. Guard cell cation channels are involved in NaCl-induced stomatal closure in a halophyte. *Plant J.* **14**: 509-521.

Villafuerte, O., 2008. Botánica de la papa. www.agroancash.gob.pe. Perú

Wang, X., Ullah, H., Jones, A. y S. Assmann. 2001. G protein regulation of ion channels and abscisic acid signaling in Arabidopsis guard cells. *Science*, **292**: 2070-2072.

Yan, H., Gong, L., Zhao, C. y Guo, W. 2000. Effects of exogenous proline on the physiology of soybean plantlets regenerated from embryos in vitro on the ultrastructure of their mitochondria under NaCl stress. *Soybean Sci*, **19**: 314-319.

Zhang, B.-G., Li, G.-T., Shen, T.-S., Wang, J.-K. and Sun, Z., 2000. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*. *Soil Biol. Biochem.*, **32**: 2055-2062.

Zheng, A., Nafisi, M., Tam, A., Li, H., Crowell, D., Chary, S., Schroeder, J., Shen, J. y Yang, Z. 2002. Plasma membrane-associated ROP10 small GTPase is a specific negative regulator of abscísico acid responses in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, **14**: 2787-2797.

Zhu, J. 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, **6**: 66-71

Zhu, J. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Ann. Rev. of Plant Biol.*, **53**: 247-273.