

**Desarrollo de una función de producción de
lechuga (*Lactuca sativa*) a partir de diferentes
niveles de nitrógeno, distanciamiento entre
plantas, ante escenarios con y sin cobertura
plástica, en Zamorano**

Diana Sobeyda Cruz Cruz

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

**Desarrollo de una función de producción de
lechuga (*Lactuca sativa*) a partir de diferentes
niveles de nitrógeno, distanciamiento entre
plantas, ante escenarios con y sin cobertura
plástica, en Zamorano**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Administración de Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Diana Sobeyda Cruz Cruz

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

Desarrollo de una función de producción de lechuga (*Lactuca sativa*) a partir de diferentes niveles de nitrógeno, distanciamiento entre plantas, ante escenarios con y sin cobertura plástica, en Zamorano

Presentado por:

Diana Sobeyda Cruz Cruz

Aprobado:

Fredi Arias, Ph.D.
Asesor Principal

Ernesto Gallo, M.Sc. M.B.A.
Director
Carrera de Administración
de Agronegocios

Marcos Vega, M.G.A.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Jeffery Pack, D.P.M.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Cruz D. 2009. Desarrollo de una función de producción en lechuga (*Lactuca sativa*) a partir de diferentes niveles de nitrógeno, distanciamiento entre plantas, ante escenarios con y sin cobertura plástica, en Zamorano. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Administración de Agronegocios, Zamorano, Honduras. 41 p.

Ante la inexistencia de un modelo que compare las ventajas económicas y técnicas del uso de la cobertura plástica, así como la falta de una dosis de fertilización y distanciamiento efectivos para maximizar la producción física de lechuga y por consiguiente determinar las cantidades de insumo para obtener el óptimo económico, utilizando las tres variables descritas a la vez, surge la necesidad de desarrollar una función de producción de lechuga. La investigación se dividió en dos fases. En la fase de campo se implementó un ensayo agrícola para conocer la relación técnica entre las variables independientes: nivel de fertilización de NH_4NO_3 , distanciamiento entre plantas y escenarios con y sin cobertura plástica con rendimiento (kg/ha) de lechuga, siendo ésta la variable respuesta. El diseño utilizado fue BCA con parcelas subdivididas (por plástico) con nueve tratamientos y tres repeticiones. El mejor modelo se eligió de acuerdo a parámetros como el R^2 , el R^2 ajustado, valor p, y valores t de los coeficientes obtenidos, resultando como mejor modelo el número dos de 15 determinados utilizando “Statistical Analysis System”, a partir del cual se obtuvo la función con la que se determinó, que la cantidad de nitrógeno para maximizar la producción es 148.24 kg/ha a 30.83cm entre plantas para una producción de 33,540 y 34,450 kg/ha de lechuga sin y con plástico, respectivamente. Para obtener el máximo beneficio económico se necesitan 148.22kg/ha de nitrógeno a 30.76cm entre plantas para una producción de 24,984.21 y 26,107.32 kg/ha de lechuga sin y con cobertura plástica, respectivamente. El aporte económico adicional de rendimientos que proporciona el escenario de utilización con la cobertura plástica fue de \$631.83 por hectárea, lo que paga la inversión realizada.

Palabras clave: Distanciamiento entre plantas, función de producción, modelo económico.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. METODOLOGÍA.....	9
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4. CONCLUSIONES.....	27
5. RECOMENDACIONES.....	28
6. LITERATURA CITADA.....	29
7. ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Valor nutricional de la lechuga a 100 g de sustancia.....	2
2. Características agroecológicas de la lechuga.....	4
3. Niveles de fertilización para lechuga recomendados por FINTRAC	4
4. Producción de lechuga (1000 toneladas)	4
5. Consumo de lechuga (1000 toneladas)	5
6. Tratamientos evaluados para la lechuga en el ensayo de campo.....	9
7. Espacio entre las unidades experimentales del ensayo de lechuga.....	10
8. Cronología del cultivo de lechuga (<i>Parris Island</i>) (Ensayo de campo)	12
9. Pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios sin cobertura plástica	15
10. Pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios con cobertura plástica	16
11. Análisis de regresión para la función de producción de lechuga.....	17
12. Variables de la función de producción de lechuga	18
13. Resultados de la función de producción de lechuga sin la cobertura plástica	20
14. Resultados de la función de producción de lechuga con la cobertura plástica	21
15. Análisis incrementales del cultivo de lechuga con la utilización del plástico	24
16. Rendimientos de lechuga a partir de las tres variables estudiadas	25

Figura

1. Combinaciones de fertilización (F) y distanciamiento (D) para la lechuga	9
2. Cálculo de las cantidades de urea para cada parcela del ensayo de lechuga	12
3. Gráfica de pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios sin cobertura plástica.....	15
4. Gráfica de pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios con cobertura plástica	16
5. Análisis de residuales para la función de producción de lechuga.....	18
6. Gráfica de la función de producción de lechuga sin cobertura plástica.....	21
7. Gráfica de la función de producción de lechuga con cobertura plástica	22
8. Rendimientos de lechuga en kg/ha a partir de la tres variables estudiadas	26

Anexo

1. Croquis de la distribución de los tratamientos para la lechuga en el campo	31
2. Unidad experimental del ensayo en campo de la lechuga	31
3. Mapa de zonas agrícolas de Honduras.....	32
4. Modelo N° 1 de regresión para la función de producción de lechuga	32
5. Modelo N° 3 de regresión para la función de producción de lechuga	33
6. Modelo N° 4 de regresión para la función de producción de lechuga	33
7. Pesos de lechuga extrapolados a kg/ha.....	34
8. Presupuesto del ensayo realizado para la lechuga	35

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La agricultura, a pesar de ser un rubro muy dinámico, en nuestros países se ve limitada por condiciones naturales y por la falta de recursos tecnológicos que son determinantes para su incremento y desarrollo. No obstante existen agricultores que tienen la capacidad económica para obtener y mantener sus producciones con base en la experiencia de prueba y error la cual en la mayoría de los casos eleva los costos de producción sin lograr aprovechamiento efectivo de los insumos o peor aún sin obtener el óptimo económico de los cultivos.

En Honduras, los agricultores son en su mayoría pequeños productores de subsistencia y lo que venden es su excedente para consumo interno, ellos no pueden darse el lujo de subir sus costos de producción para experimentar con sus cultivos, ya que sus condiciones económicas en la mayoría de los casos no se lo permite, por lo que se ven obligados a producir solo con su conocimiento a priori.

En los últimos años la producción de hortalizas ha experimentado un significativo progreso en cuanto a rendimiento y calidad, de igual manera la producción de lechuga también se ha incrementado gracias al descubrimiento y desarrollo de nuevos cultivares y su aumento en consumo (SAG, 2008).

Existe la necesidad de realizar un estudio que provea información para determinar una función de producción en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en Zamorano, con el objetivo de encontrar la efectividad de la cobertura plástica, la dosis de nitrógeno y el distanciamiento entre siembra que refleje el punto óptimo económico.

1.2 REVISION DE LITERATURA

1.2.1 Origen

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede del mediterráneo. Los botánicos creen que un seguro antecesor de la lechuga de hoy es la, *Lactuca serriola L*, ó lechuga espinosa que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas.

Las variedades cultivadas actualmente son una hibridación entre especies distintas .El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2,500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de que se tienen referencia son la de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI.

El cultivo de la lechuga romana, se extendió por toda el área mediterránea y hoy en día sigue siendo el tipo principal de lechuga cultivado en el este de Europa, costa mediterránea y América (Davis, 2002).

1.2.2 Descripción

La lechuga pertenece a la familia compositae tribu cichorieae y corresponde a la *Lactuca sativa*, la de hoja suelta es de la variedad botánica crispa y la de cabeza es de la variedad capitata, Cáceres E. (1980).

Es una planta anual y autógama, la raíz no llega nunca a sobrepasar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así en todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. El Tallo es cilíndrico y ramificado. La inflorescencia son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos. Las semillas están provistas de vilano plumoso. La textura es crujiente. Las hojas exteriores son de color verde oscuro y las interiores son amarillentas (INFOAGRO, HN, 2009).

El contenido nutricional de la lechuga se presenta en el cuadro a continuación:

Cuadro 1. Valor nutricional de la lechuga a 100 g de sustancia

Componente	Aporte
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina C (mg)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Fuente: Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras (SAG, 2009)

Existen 6 tipos de cultivares de lechuga: Cabeza de Mantequilla o Boston la cual tiene textura de mantequilla, bastante famosa en Francia. Lechuga China o Espárrago ésta tiene forma de espada, se utiliza para hacerla cocida. Crisphead, Iceberg o arrepollada, tiene cabezas densas parecidas al repollo. Estas son las más conocidas en Estados Unidos y se llama Iceberg por que en el año 1920 venia en hielo en forma de Iceberg.

La romana con forma de jarrón con hojas erectas, abiertas y alargadas. La Summer Crisp o Batavian que forma cabezas densas con una estructura crunchy, es una combinación entre iceberg y hojas sueltas.

En Honduras el patrón de consumo es primero lechuga iceberg, y lechuga romana.

El cuadro a continuación muestra las características agroecológicas pertenecientes a éste cultivo.

Cuadro 2. Características agroecológicas de la lechuga

Parámetros estimados	
Suelos	Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenosos-limosos, con buen drenaje.
Clima	Cálido, templado y frío. Se desarrolla mejor en los templados y fríos; no resiste las heladas.
Temperatura Óptima	18 - 20°C
pH	6.7 - 7.4

Fuente: Servicio de información Agroalimentaria, de Honduras (INFOAGRO, 2009).

EL nitrógeno (N) es el nutriente con mayor impacto sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos hortícolas en general además es extremadamente dinámico en el suelo y sufre cambios que incluyen procesos de pérdidas, ganancias y transformaciones. (Maroto, 2002).

El cuadro a continuación muestra la forma en que la lechuga debe fertilizarse.

Cuadro 3. Niveles de fertilización para lechuga recomendados por FINTRAC

Elemento	Nomenclatura	Cantidad en kg/acre	Cantidad de kg/ha
Nitrógeno	N	53-65	30-160
Fosforo	P	38-53	95-130
Potasio	K	65-80	160-195
Calcio	Ca	20	50

Fuente: Lardizábal (2005), adaptado por el autor.

1.2.3 Antecedentes

A nivel regional o Centro Americano Guatemala es el principal productor de lechuga del tipo Iceberg o arrepollado.

La FAO solo provee datos de producción de Guatemala y Honduras que a continuación se ilustran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Producción de lechuga (1000 toneladas)

País	2002	2003	2004	2005	2006
Guatemala	33.30	38.00	38.00	38.00	38.00

Honduras	1.48	1.45	1.45	1.45	1.46
----------	------	------	------	------	------

Fuente: FAO Statistics Division (2009), adaptado por el autor.

El consumo Centro Americano reportado por la FAO es el siguiente:

Cuadro 5. Consumo de lechuga (1000 toneladas)

País	2002	2003	2004	2005
Costa Rica	0.00	0.00	0.00	0.25
El Salvador	11.83	23.88	4.43	11.56
Guatemala	2.20	4.81	25.59	24.59
Honduras	1.48	1.46	1.46	1.54
Nicaragua	0.11	0.01	0.06	0.04

Fuente: FAO Statistics Division (2009), adaptado por el autor

El desarrollo sostenible de la agricultura puede contribuir mucho al desarrollo económico y social general pero sobre todo en las zonas rurales donde la pobreza es sumamente grave. Honduras es un país que posee un gran potencial para producir hortalizas y frutas, frescas para el mercado interno y de exportación; Gracias a su ubicación geográfica que es muy ventajosa con relación a otros países y al mercado más grande del mundo que es Estados Unidos. Por otra parte cuenta con dualidad de ambientes y climas para la producción de una diversidad de cultivos.

Las hortalizas se cultivan en menos de cinco por ciento de las explotaciones agrícolas del país, ocupando una superficie aproximada de 24,000 hectáreas según datos del Censo Agrícola de 1993 (última fuente oficial disponible), con una proporción de 0.3% de esa extensión dedicada al cultivo de lechuga (SAG, 2009).

Programas como la Cuenta del Milenio-Honduras y la asociación Hermandad de Honduras han fomentado directamente el crecimiento económico sostenible de unas 572 familias a través de proyectos que incluyen asistencia técnica a estos productores para fortalecer la capacidad de producción agrícola especialmente en la zona occidental del país basados en el cultivo de hortalizas, entre los cuales se encuentra la lechuga, todo ello con el fin de que esta zona se convierta a corto plazo en productora y abastecedora de hortalizas y frutas que cumplan con los estándares de calidad en los mercados nacional e internacional (SAG, 2009).

El mercado potencial a nivel nacional se maneja a través de contratos de compra, por medio de la Unidad de Agronegocios de la SAG, con hoteles como Honduras Copantl, restaurantes como TGI FRIDAY'S y súper mercados como PRICE SMART y la COLONIA a través de las siguientes cadenas de comercialización.

Productor-Consumidor

Productor-Intermediarios-Mercados

Productor-Distribuidores-Supermercados (SAG, 2009).

Para comercializar la lechuga romana es necesario como mínimo un peso de 0.32 kg y 25cm de altura, de acuerdo con los requerimientos citados en el año 2008 por, La Colonia uno de los supermercados más importantes del país. Por consiguiente los precios promedio de compra de los supermercados en Honduras para la escarola amarilla y morada es de L.9.00 la libra. Los precios de la lechuga de cabeza varían entre Lps.7.00 y L.8.00 la libra y la romana se encuentra en L.7.00. SIMPAH (2009).

1.2.4 Función de Producción

Una función de producción representa la relación existente entre insumo y producto, que describe la tasa a que los recursos son transformados por medio de la ley de los retornos marginales decrecientes.

Los matemáticos definen una “función” como la regla para asignar a cada valor de un grupo de variables “X” (el dominio de la función) un valor único de otro grupo de variables “Y” (el rango de la función) (Arias, 2008).

La cantidad de un bien que se produce en un proceso productivo determinado, depende de la cantidad y de la forma en que se combinan los insumos. La relación que describe la forma en que el producto depende de los insumos es lo que se llama Función de Producción (Blanco, 1974).

Los tipos de insumos son: “insumo variable” éste es el insumo que el productor puede controlar es decir que puede alterar su nivel, é “insumo fijo” aquel insumo que por alguna razón el productor no tiene control sobre la cantidad disponible.

Es así como para cada nivel de insumo utilizado, la función asigna un nivel único de producción no obstante cuando el nivel de insumo es cero, la producción podría ser cero, aunque existen algunos casos en los que existiría una producción positiva a un nivel de cero insumos.

1.2.5 Ley de los Retornos Decrecientes

Esta se refiere a que a medida que las unidades de insumos variables son agregadas a unidades de uno o más insumos fijos, después de un cierto punto, cada unidad incremental del insumo variable produce menos y menos producto adicional. La importancia de esta ley radica en lo “adicional” pues con ello se hace mención a la tasa de cambio en la pendiente de la función de producción (Arias, 2008).

Debido a que existen diversas funciones para establecer las respuestas de distintas variables, se determino la más adecuada a partir de análisis estadístico, comparando los parámetros estadísticos en cada modelo planteado; como también la ley de los retornos marginales decrecientes.

1.2.6 Efecto de colinealidad

En econometría se refiere a una situación en la que dos o más variables explicativas están fuertemente interrelacionadas y, por tanto, resulta difícil medir sus efectos individuales sobre la variable endógena (Jerez y Sotoca, 2007).

1.2.7 Variable dummy

En econometría no sólo se usan variables que son fácilmente cuantificables (por ejemplo, precio, ingreso, cantidad demandada, etc.), sino también variables que son esencialmente cualitativas. Ejemplos de éstas son sexo, raza, religión, nacionalidad, etc. Estas variables cualitativas son de carácter dicotómico o binario. Por ello, es fácil expresarlas como variables que puedan tomar el valor de 1 ó 0 (Wooldridge, J. 2001).

1.2.8 Prueba Tukey

Es una prueba de rangos múltiples que se utiliza en experimentos que implican un número elevado de comparaciones (Carballo y Quiroga. 1976).

1.3 JUSTIFICACIÓN

La lechuga es una de las plantas más importantes del grupo de las hortalizas de hoja; se consume en ensaladas, es ampliamente conocida y se cultiva casi en todos los países del mundo. Esta absorbe más del 70% del total de nutrientes dentro de tres semanas antes de la cosecha, de manera que es necesario mantener un nivel elevado de nutrientes hasta la cosecha (Vigliola, 1989).

Dado que éste es un cultivo en el cual el aprovechamiento son las hojas, está sujeta a la producción de clorofila es decir desarrollo de la hoja y conociendo que el macro nutriente que se encarga de esto es el nitrógeno se utilizó como una de las variables para el estudio, tomando en cuenta que éste es de fácil lixiviación, volatilización y oxidación al momento de su aplicación.

La lechuga es un cultivo anual de ciclo corto é intensivo éste último factor provoca que la distancia entre plantas sea un factor crítico en los rendimientos futuros ya que es necesario encontrar la distancia óptima (distancia mínima entre plantas que produce el máximo rendimiento) ya que a menor distancia entre plantas existe mayor competencia por nutrientes.

Para el cultivo de lechuga se aplica la cobertura plástica tomando en cuenta que se utiliza para varios cultivos sucesivos es necesario conocer el impacto económico de la aplicación de éste en la producción de lechuga, a partir de sus propiedades, manteniendo la humedad del suelo, disminuyendo el lavado de nutrientes y mejorando el control de malezas.

1.4 LÍMITES DEL ESTUDIO

Esta investigación se ve limitada por las condiciones edafoclimáticas del lugar y las particularidades con respecto al manejo del cultivo.

Dado el diseño de un modelo uni-funcional, esta investigación se ve limitada a la identificación de la relación primaria de causa y efecto entre las variables independientes y dependientes. Sin embargo, se está consciente de que la determinación de la producción de lechuga se da en una relación de ecuaciones simultáneas y multidireccionales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Determinar una función de producción en lechuga (*Lactuca sativa*) a partir de diferentes dosis de nitrógeno, densidades de plantas, ante escenarios con y sin cobertura plástica, en Zamorano.

1.5.2 Objetivos específicos

- Estimar la relación existente entre la dosis de nitrógeno, la distancia entre plantas y la presencia o no de cobertura plástica en la producción de lechuga.
- Determinar el impacto económico que crea la utilización de cobertura plástica en la producción de lechuga.
- Establecer el punto óptimo económico de producción a partir del uso efectivo de las tres variables a estudiar y de acuerdo a las condiciones de mercado.

2. METODOLOGÍA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Fase de campo (Etapa 1)

Esta etapa fue diseñada y manejada por el autor y sirvió para determinar los datos que muestran la relación técnica entre el nitrógeno, el distanciamiento entre siembra y la utilización o no de la cobertura plástica y partir de éstos derivar una función de producción de lechuga para así poder encontrar el punto óptimo económico en la producción de éste cultivo. La variedad utilizada para realizar éste ensayo fue “*Parris Island*”.

2.1.1.1 Tratamientos y variable respuesta

Las variables independientes que se estudiaron son el nivel de nitrógeno de 150 kg/ha de acuerdo a lo recomendado por la organización FINTRAC en el 2005. El distanciamiento entre plantas y la utilización de la cobertura plástica como parte del modelo utilizado en Zamorano y semejante a la realidad del productor.

Cuadro 6. Tratamientos evaluados para la lechuga en el ensayo de campo

Fertilización (kg/ha)	Distanciamiento entre plantas (cm)	Cobertura plástica
F1: 125	D1: 25	Si ó No
F2: 150	D2: 30	Si ó No
F3: 175	D3: 35	Si ó No

Fuente: Autor

Para obtener como resultado 18 tratamientos con las combinaciones mostradas en la figura a continuación:

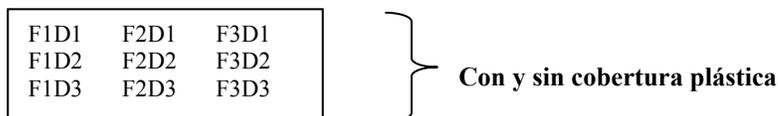


Figura 1: Combinaciones de fertilización (F) y distanciamiento (D) para la lechuga

Fuente: Autor

La variable respuesta fue kg/ha de lechuga, las dimensionales de la variable respuesta y los tratamientos efectuados, están definidas de esta manera y extrapoladas así para una mejor comprensión de los datos y del resultado mismo.

2.1.1.2 Diseño experimental:

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar (BCA) con parcelas subdivididas dado que se estaba probando dos escenarios con y sin cobertura plástica.

El experimento en campo se llevó a cabo en el lote N° 16, zona 2 del departamento de hortalizas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Francisco Morazán, Honduras. Ésta zona se encuentra aproximadamente a 800 msnm con una precipitación pluvial anual promedio de 1,150 mm. Los suelos han sido utilizados para producción de hortalizas desde 1986 hasta la actualidad.

Aunque no existe una gradiente definida, se utilizó este tipo de diseño por considerarse más idóneo para evaluaciones en campo libre, para reducir efectos de fertilidad básica, pendiente, borde, etc.

Tomando en cuenta el criterio general para investigaciones agrícolas y para reducir el error estadístico, se utilizaron tres repeticiones para un total de 27 parcelas grandes con 54 parcelas subdivididas, utilizando ésta última para medir el efecto que tiene el uso de la cobertura plástica en el cultivo.

El tamaño de la unidad experimental (parcela) varió de acuerdo al distanciamiento entre plantas.

El cuadro a continuación muestra la distribución del distanciamiento de los tratamientos y el espacio total que ocupó la unidad experimental.

Cuadro 7. Espacio entre las unidades experimentales del ensayo de lechuga

Distanciamiento entre plantas (cm)	Espacio total de la unidad experimental (cm)
(D1) 25	75
(D2) 30	90
(D3) 35	105

Fuente: Autor

Había cuatro hileras por parcela cada una con cuatro plantas para un total de 16 plantas constantes por unidad experimental con 80cm de separación entre sí. Por consiguiente el área total del experimento fue de 144m² (0.0144 ha.), con 54 unidades experimentales y 864 plantas en todo el experimento. Se utilizaron las dos hileras internas para eliminar el efecto de borda por tratamiento

2.2 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN (MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO)

2.2.1 Preparación del suelo

Las practicas de preparación de suelo correspondientes como ser, arado, rastreado y acamado, necesarias para adecuar el suelo a las necesidades del cultivo, las realizó previamente el departamento de horticultura junto al laboratorio de suelos de Zamorano, de igual manera el control de plagas fue monitoreado de acuerdo con el plan de manejo integrado de plagas (MIP) que Zamorano tiene estipulado según las necesidades del cultivo. Por otro lado para el riego se adecuó cintas de goteo según los requerimientos del suelo, se realizó un solo desmalezado 14 días después del trasplante como parte del control de malezas.

2.2.2 Siembra y trasplante:

Dado que la variedad (*Parris Island*) bajo estudio tiene una semilla muy pequeña fue necesario hacer una siembra a mano en forma de pilón, ésta se realizó en bandejas de 96 semillas cada una, en total nueve bandejas desinfectadas con cloro a 200 ppm, aumentando un 20% al total de las plántulas necesarias dado su porcentaje de germinación, fue así como 21 días después de la siembra se realizó el trasplante en el área asignada para el experimento.

2.2.3 Fertilización:

Las aplicaciones de fertilizante (NH_4NO_3) en las parcelas del experimento se realizaron después del trasplante y de tipo manual para reducir el efecto de lixiviación y volatilización del nitrógeno aplicándose la cantidad requerida a cada una de las plantas según el tratamiento asignado, tomando en cuenta que la lechuga es un cultivo de ciclo corto entre 30 y 35 días de campo aproximadamente. Las aplicaciones fueron un 30% al momento del trasplante, un 40% a los 8 días (6 hojas verdaderas) después del trasplante y un 30% restante a los 18 días (13 hojas verdaderas) antes de ser cosechadas.

Cada uno de los tratamientos se diluyó a un volumen total de 960 ml es decir 10 ml por planta. El instrumento utilizado para hacer las aplicaciones fue una jeringa de 10 ml.

Los cálculos de cada aplicación de acuerdo con cada nivel de fertilización se muestran en la figura a continuación:

% de (N) del fertilizante		33.5		1ra aplicación			3ra aplicación		
Dosis	cm/plantas	kg/ha fertilizante	Plantas/ha	gr/planta	gr/trt.	Total	gr/planta	gr/trt.	Total
				30%			40%		
125	25	373	106667	1	17	101	1	22	134
125	30	373	88889	1	20	121	2	27	161
125	35	373	76190	1	24	141	2	31	188
150	25	448	106667	1	20	121	2	27	161
150	30	448	88889	2	24	145	2	32	193
150	35	448	76190	2	28	169	2	38	226
175	25	522	106667	1	24	141	2	31	188
175	30	522	88889	2	28	169	2	38	226
175	35	522	76190	2	33	197	3	44	263

Figura 2. Cálculo de las cantidades de urea para cada parcela del ensayo de lechuga
Fuente: Autor

2.2.4 Cosecha

En primera instancia se iban a realizar tres momentos de cosecha partiendo de la realidad del productor es decir que éste cosecha sus lechugas al momento que alcanzan su peso comercial, el cual se encuentra aproximadamente en los 0.32 kg como mínimo. Las fechas fijadas eran a los 28,35 y 42 días después de haber sido trasplantadas, pasado los 42 días las plantas que no hubiesen alcanzado el peso requerido serían descartadas para la elaboración de éste experimento, pero a los 30 días el total de las plantas se encontraron en las condiciones requeridas para hacer la cosecha por lo que se hizo un único día de toma de datos. La cosecha se hizo en forma manual utilizando una balanza convencional, tomando los pesos de las cuatro plantas ubicadas al centro de cada parcela subdividida como variable respuesta de cada uno de los 54 tratamientos dentro del experimento.

Cuadro 8. Cronología del cultivo de lechuga (*Parris Island*) (Ensayo de campo)

Descripción	Tiempo (días después de la siembra)
Siembra	0
Trasplante	21
Fertilización 1	21
Fertilización 2 y desmalezado	29 (6 hojas verdaderas)
Fertilización 3	39 (13 hojas verdaderas)
Cosecha	51

Fuente: Autor

2.3 FASE ESTADÍSTICA

En ésta etapa se muestra el análisis estadístico de los datos obtenidos en la fase de campo y de acuerdo con éstos se seleccionó el modelo de la función de producción que mejor se adapta o representa mayor significancia estadística en el cultivo de lechuga y a partir de éste se explica el impacto económico que causa la marginalidad en la aplicación del fertilizante, distanciamiento entre plantas y cobertura plástica, versus la ganancia en producción de lechuga.

A partir de esa función se encontró el óptimo económico de producción, con cada una de las variables descritas mostrando además el impacto económico que crea la utilización de la cobertura plástica en el cultivo.

2.3.1 Análisis de los datos

Los datos se analizaron a través de una tabla dinámica para ordenar y evaluar la interacción entre densidad y nitrógeno sobre el peso de lechuga en kg/ha. Y conocer la tendencia que presentan los mismos. La parte vertical representa los diferentes distanciamientos analizados y la parte horizontal representa las dosis de nitrógeno, ambas variables evaluadas en los nueve tratamientos y ante los dos escenarios.

2.3.2 Selección de la Función

El análisis estadístico se realizó utilizando la herramienta “Statpro”. Los datos se analizaron utilizando el método de regresión lineal múltiple el cual parte de expresar la idea de que una variable respuesta “ y ”, varía con un conjunto de variables “ x_1, x_2, \dots, x_m ”, bajo la siguiente fórmula:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e \quad [1]$$

Donde:

Y es la respuesta, ó variable dependiente

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ son parámetros desconocidos

x_1, x_2, \dots, x_n son los regresores ó variables independientes

e es el error aleatorio

$i = 1, 2, \dots, n$. escribiendo el modelo para cada una de las observaciones (Arias, 2008).

Los escenarios se evaluaron con variables “dummy” asignando cero para la no utilización de la cobertura y uno para la si utilización de la cobertura plástica.

Partiendo de ese principio se determinan los coeficientes de cada una de las variables independientes en cada modelo, se encuentra el que más representa a la realidad y se desarrolla la función, evaluando dentro del análisis de regresión los parámetros de correlación múltiple, coeficiente de determinación (R^2), (R^2) ajustado, el error típico, valor p , valores t , signos de los coeficientes, y análisis de residuales.

2.4 MAXIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN ECONÓMICA

Después de seleccionar la función, se hizo una derivación parcial de ésta despejando para nitrógeno é igualándola a cero. De la misma forma con el distanciamiento entre plantas para establecer la cantidad de N y D, necesarios para maximizar la producción de lechuga.

Una vez encontrado el punto máximo se definió la dosis y distanciamiento económicos para determinar el óptimo económico para la producción de lechuga. Ello se realizó igualando la relación de precios tanto del producto como del insumo.

Se utilizó el programa de “Matemáticas de Microsoft” para resolver las ecuaciones resultantes de las derivadas parciales en los sistemas de ecuaciones planteados.

2.4.1 Determinación de precios de insumos y productos

El precio del insumo Urea (NH_4NO_3) es de \$ 0.33 ctvs. , para las plántulas es de \$ 0.01 ctvs. éste se definió de acuerdo a los precios utilizados por el departamento de Horticultura de la Escuela Agrícola Panamericana.

El precio del producto es de \$ 0.81ctvs., según el informe de precios de productos hortícolas que utiliza la Secretaria de Agricultura y Ganadería de Honduras (SAG), correspondiente al mes de agosto del año 2009.

2.4.2 Análisis de costos incrementales

Se realizó para obtener el aporte económico que brinda la utilización de la cobertura plástica tomando en cuenta que se utiliza para tres ciclos en cultivos rotacionales, y que la no utilización de la misma genera dos desmalezados por ciclo.

2.5 ANÁLISIS DE SEPARACIÓN DE MEDIAS

Esté se utilizó para conocer si existía diferencia estadística específica entre todos los tratamientos con y sin cobertura plástica y se determinó con el programa “Statistical Analysis System”, utilizando la prueba “Tukey” la cual compara cada promedio del los tratamiento con cada uno de los otros promedios. Se utilizó dicha prueba por considerarse la más rigurosa para éste tipo de análisis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se evaluaron los tratamientos en los escenarios con y sin cobertura plástica para así mostrar los rendimientos en peso obtenidos por cada tratamiento como se muestra a continuación.

En el cuadro N° 9 y la figura N° 3 muestran la tendencia de los datos para el escenarios sin cobertura plástica donde se puede observar que el mayor peso obtenido está en la repetición número 3 del tratamiento “F2D2”, el cual consistió en una dosis de nitrógeno de 150kg/ha. , un distanciamiento de 30 cm entre plantas y un peso de 33,540 kg/ha.

Cuadro 9. Pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios sin cobertura plástica

Dosis/ Distanciamiento	25	25	25	30	30	30	35	35	35
125	15430	18750	20700	20230	20420	20300	19860	20570	18690
150	16450	19730	20590	23900	28450	33540	25300	21600	19000
175	16200	17865	18760	17430	17050	17520	17340	18000	16345

Fuente: Autor

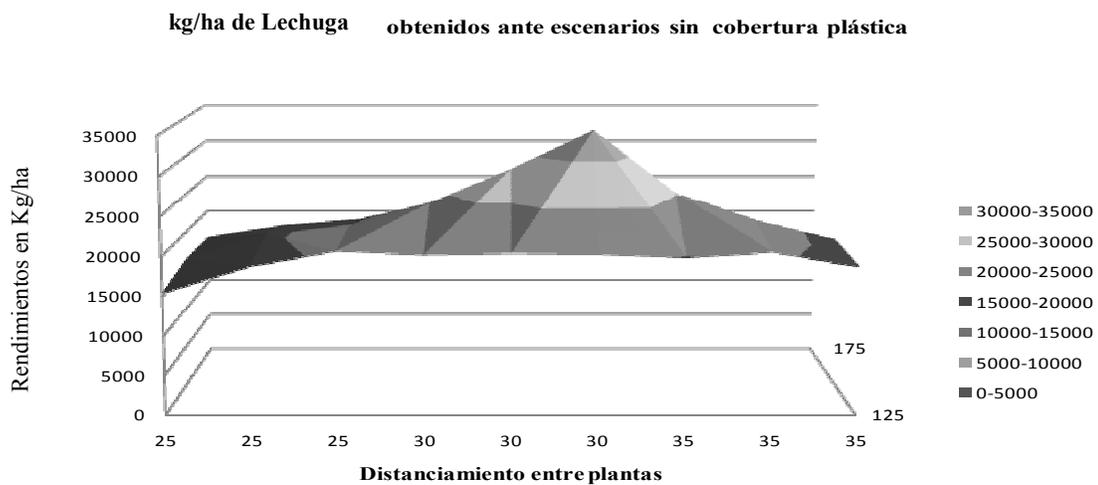


Figura 3. Gráfica de pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios sin cobertura plástica

Fuente: Autor

En el cuadro N°10 y la figura N° 4 se puede observar como a partir de la inclusión de la cobertura plástica aumenta el rendimiento en pesos en todos los tratamientos siendo también el tratamiento “F2D2” de 150 kg/ha de dosis y 30cm de distanciamiento el que presenta los mayores pesos dentro del análisis de tendencia con 34,450 kg/ha.

Cuadro 10. Pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios con cobertura plástica

Dosis/Distanciamiento	25	25	25	30	30	30	35	35	35
125	16348	19100	21234	21230	22340	21450	19950	20900	19700
150	16700	20000	24236	25340	29860	34450	27658	24350	19500
175	16800	18400	19650	18345	19345	18750	17900	18900	17500

Fuente: Autor

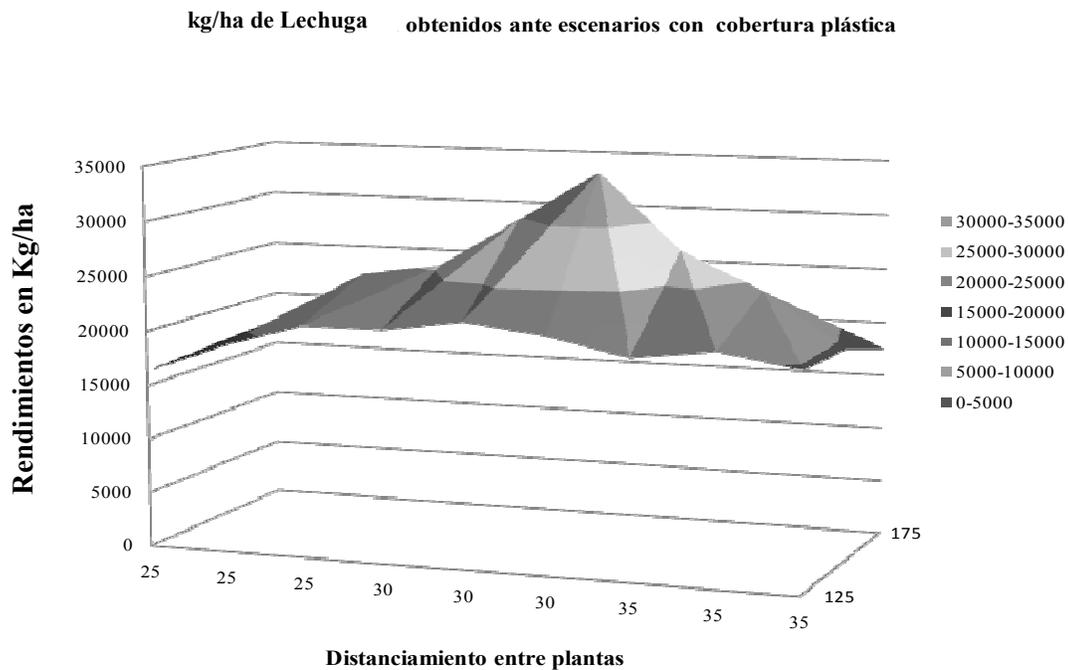


Figura 4 Gráfica de pesos en kg/ha de lechuga ante escenarios con cobertura plástica

Fuente: Autor

3.2 ANÁLISIS DEL MODELO

Se corrieron 15 modelos de los cuales se eligieron los cinco mejores tomando como parámetros principales el coeficiente de determinación (R^2), (R^2) ajustado y error típico. El mejor modelo se seleccionó relacionando las variables independientes con la dependiente es decir el que mejor refleja la realidad de acuerdo con los siguientes parámetros analizados; significancia estadística, los coeficientes de la variable y análisis de residuales para corroborar la existencia de colinealidad entre los datos.

3.2.1 Modelo N° 1, 3, 4,5

Todos estos modelos mostraron un igual coeficiente de determinación (R^2) de 0. 5725 y 0.5779 (R^2) ajustado de 0.5240 y 0.5279, y presentaron variables con significancia estadística menor a uno lo que indica que las mismas no contribuyen a explicar el modelo.

Las variables cuadráticas y cúbicas aparecen con signo negativo lo que contradice al principio de sinergia, el cual explica que la presencia de una variable con respecto a otra aumenta el producto adicional que el producto que puedan dar estas si se utilizan por separado, además sus coeficientes presentaron colinealidad, por lo que los modelos con características como las ya antes mencionadas no permitieron mostrar la ley de los retornos marginales decrecientes ni el efecto de causalidad entre las variables estudiadas.

3.2.2 Modelo N° 2

Este modelo se seleccionó como el mejor dado los valores que presenta su coeficiente de determinación (R^2) de 0. 5725 y (R^2) ajustado de 0.5279, todos los valores de significancia estadística de las variables analizadas son mayores a uno, las variables cúbicas demuestran ley de los retornos marginales decrecientes y el valor “p” es menor a el parámetro ya establecido de 0.005 lo que indica que éste modelo tiene baja probabilidad de cometer un error tipo II, es decir ratificar como correcto un aseveración errónea.

El cuadro a continuación muestra el modelo que se seleccionó de acuerdo a los parámetros ya antes mencionados.

Cuadro 11. Análisis de regresión para la función de producción de lechuga

<i>Results of multiple regression for produccion</i>						
<i>Summary measures</i>						
Multiple R	0.7566					
R-Square	0.5725					
Adj R-Square	0.5279					
StErr of Est	2565.1567					
<i>ANOVA Table</i>						
Source	df	SS	MS	F	p-value	
Explained	5	422922362.8148	84584472.5630	12.8547	0.0000	
Unexplained	48	315841408.0000	6580029.3333			
<i>Regression coefficients</i>						
	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	-155465.5625	25053.1758	-6.2054	0.0000	-205838.3476	-105092.7774
N	1074.7220	180.1782	5.9648	0.0000	712.4495	1436.9946
N3	-0.0163	0.0026	-6.2093	0.0000	-0.0216	-0.0111
D	3624.1624	900.8910	4.0229	0.0002	1812.7996	5435.5251
D3	-1.2767	0.3291	-3.8793	0.0003	-1.9384	-0.6150
P	1123.1111	698.1472	1.6087	0.1142	-280.6080	2526.8301

Fuente: Autor

El cuadro a continuación muestra los residuales del modelo N° 2 éstos se examinaron bajo el análisis de la desviación estándar, el cual explica que si los datos se encuentran a dos desviaciones estándar de la media su distribución es normal asumiendo a la vez un 95% de confianza en los mismos, por consiguiente el hecho de que los datos estén distribuidos aleatoriamente ó sin una tendencia en especial descarta la posibilidad de que exista colinealidad entre las variables del modelo seleccionado.

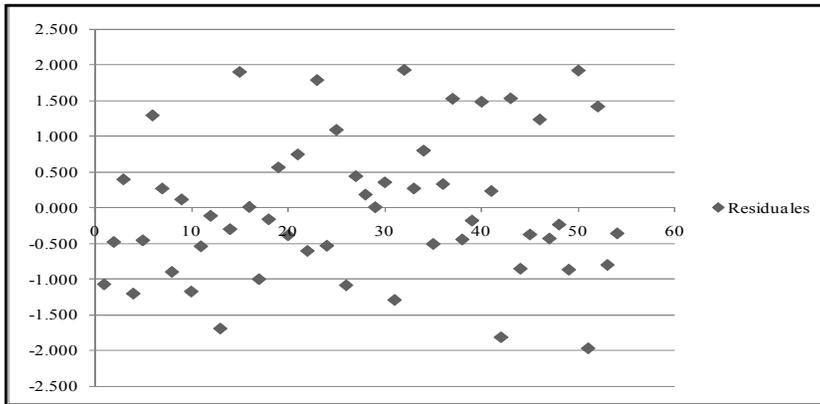


Figura 5. Análisis de residuales para la función de producción de lechuga
Fuente: Autor

3.2.2.1 Función Determinada

$$Y = -1554465.5625 + 1074.7220N - 0.0163N^3 + 3624.1624D - 1.2767D^3 + 1123.1111P \quad [1]$$

El cuadro N° 12 a continuación explica el significado de la función de producción donde se puede observar que el hecho de utilizar plástico aumenta la producción en 1123.11 k/ha de lechuga.

Cuadro 12. Variables de la función de producción de lechuga

Variables	
Y	Rendimiento de Lechuga en Kg por hectárea
1554465.5625	Intercepto
N	Kilogramos de nitrógeno por hectárea
N3	Kilogramos de nitrógeno por hectárea al cubo
D	Distanciamiento entre plantas (cm)
D3	Distanciamiento entre plantas (cm) al cubo
P	Plástico
1074.7220, -0.0163, +3624.1624, -1.2767 + 1123.1111	Coefficientes para cada variable de N a P correspondiente.

Fuente: Autor

3.3 ÓPTIMA PRODUCCIÓN FÍSICA

El producto físico marginal (PFM) se refiere al cambio en producto (kg/ha de lechuga) que se relaciona con el cambio incremental en la utilización del insumo (nutrientes y uso de la distribución del suelo) por tanto el PFM es el cambio de kg/ha de lechuga combinado con un aumento en los insumos.

Para obtener el nivel de nitrógeno y distanciamiento entre plantas en donde la función de producción llega a su máximo, se resolvió un sistema de ecuaciones algebraicas mediante el cual se estableció el punto donde la función logra su máximo valor es decir cuando el producto físico marginal ($\Delta y/\Delta x$) representado por la pendiente o la tasa de cambio de la función de producción de lechuga es igual a cero o sea, que el PFM del insumo es cero en el punto de maximización de kg/ha de lechuga y es negativo a niveles mayores.

A continuación se presentan la primera derivada parcial de producción, con respecto a Nitrógeno (N).

$$\frac{\partial y}{\partial N} = 0 \quad [2]$$

Donde:

∂y es la derivada parcial de la función de producción

∂N . es la derivada parcial de nitrógeno

El PFM con respecto a Nitrógeno (N) se iguala a cero, por tanto:

$$\frac{\partial y}{\partial N} = (1074.7220 N^2 - 0.0163N^3) = 0 \quad [2]$$

$$1074.7220 - 0.0489N^2 = 0,$$

$$\frac{\pm\sqrt{-1074.7220}}{-0.0489} = 148.24$$

$$N = 148.24$$

Derivada parcial de producción con respecto a Distanciamiento entre plantas (D).

$$\frac{\partial y}{\partial D} = 0 \quad [3]$$

Donde:

∂y : es la derivada parcial de la función de producción

∂D : es la derivada parcial del distanciamiento

El PFM con respecto a Distanciamiento entre plantas (D) se iguala a cero, por tanto:

$$\frac{\partial y}{\partial D} = (3624.1624 D^2 - 1.2767D^3) = 0 [3]$$

$$3624.1624 - 3.8311D^2 = 0,$$

$$\frac{\pm\sqrt{-3624.1624}}{-3.8311} = 30.83$$

$$\mathbf{D = 30.83}$$

Para maximizar la producción se debe aplicar 148.24 Kg. de N, por hectárea a un distanciamiento de 30.83cm entre planta para ambos escenarios quedando matemáticamente comprobado.

En el cuadro N° 13 y la figura N° 5 a continuación muestra los resultados obtenidos anteriormente los cuales fueron sustituidos en la función de producción.

Se puede observar que existe un punto en ambos extremos de la producción (15 y 45 cm) donde las plantas sobreviven pero no producen éste punto lo dicta la variable distanciamiento entre plantas y se refleja matemáticamente con signos negativos, también se puede observar que la máxima producción fue de 24,984.21 kg/ha de lechuga a 30 cm de distanciamiento y a 150 kg/ha de nitrógeno.

Cuadro 13. Resultados de la función de producción de lechuga sin la cobertura plástica

		Dosis/Distanciamiento					
	15	20	25	30	35	40	45
120	-4611.749	7604.3255	15990.3	19588.6495	17441.849	8592.3735	-7917.302
130	-1509.229	10706.8455	19092.82	22691.1695	20544.369	11694.8935	-4814.782
140	321.891	12537.9655	20923.94	24522.2895	22375.489	13526.0135	-2983.662
150	783.811	12999.8855	21385.86	24984.21	22837.409	13987.9335	-2521.742
160	-221.269	11994.8055	20380.78	23979.1295	21832.329	12982.8535	-3526.822
170	-2791.149	9424.9255	17810.9	21409.2495	19262.449	10412.9735	-6096.702
180	-7023.629	5192.4455	13578.42	17176.7695	15029.969	6180.4935	-10329.182

Fuente: Autor

Función de producción sin cobertura plástica

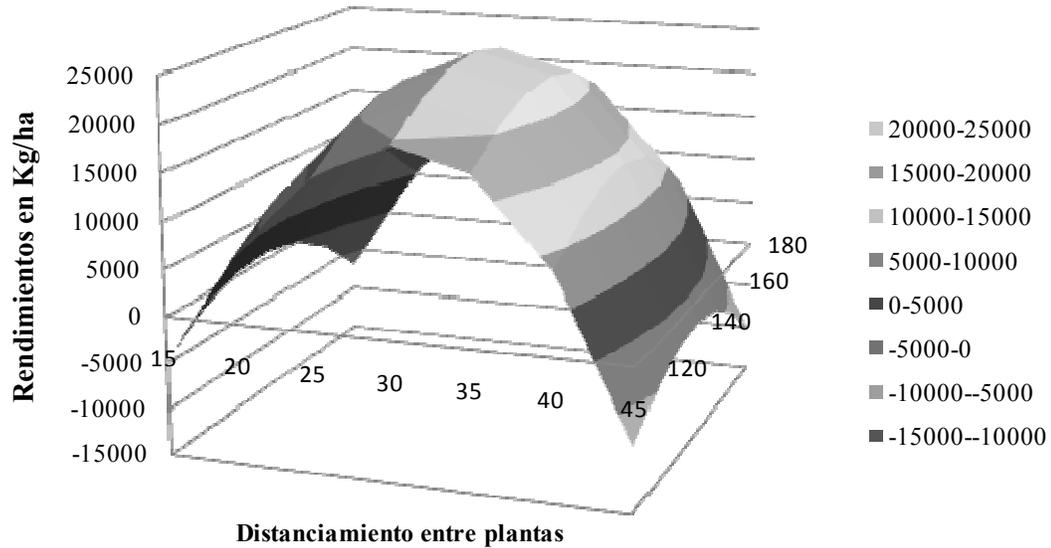


Figura 6. Gráfica de la función de producción de lechuga sin cobertura plástica
Fuente: Autor

En el cuadro N° 14 y la figura N° 7 a continuación se pueden observar que el uso de la cobertura plástica, considerado como una tecnología, aumentó el rendimiento en 1123.11kg/ha; lo cual se refleja como un salto en la estructura de la curva de producción y que además se evaluó como una variable “dummy” evaluada por la presencia o no de la misma en todo el escenario

Cuadro 14. Resultados de la función de producción de lechuga con la cobertura plástica

Resultados							
	15	20	25	30	35	40	45
120	-3488.6379	8727.4366	17113.4111	20711.7606	18564.9601	9715.4846	-6794.1909
130	-386.1179	11829.9566	20215.9311	23814.2806	21667.4801	12818.0046	-3691.6709
140	1445.0021	13661.0766	22047.0511	25645.4006	23498.6001	14649.1246	-1860.5509
150	1906.9221	14122.9966	22508.9711	26107.3206	23960.5201	15111.0446	-1398.6309
160	901.8421	13117.9166	21503.8911	25102.2406	22955.4401	14105.9646	-2403.7109
170	-1668.0379	10548.0366	18934.0111	22532.3606	20385.5601	11536.0846	-4973.5909
180	-5900.5179	6315.5566	14701.5311	18299.8806	16153.0801	7303.6046	-9206.0709

Fuente: Autor

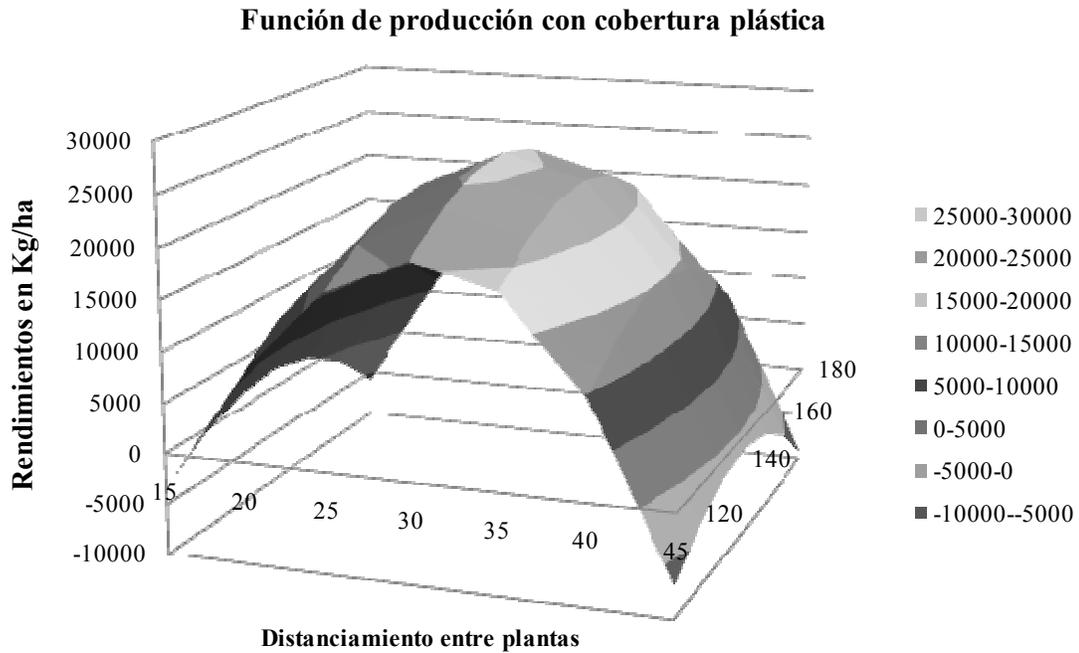


Figura 7. Gráfica de la función de producción de lechuga con cobertura plástica
Fuente: Autor

3.4 ÓPTIMA PRODUCCIÓN ECONÓMICA

Para ello primero fue necesario encontrar el valor del producto físico marginal VPM el cual resultó de la multiplicación del PFM con el precio del producto, posteriormente se igualó el VPM con los costos marginales es decir el precio del insumo referente al costo de producir una unidad adicional.

Los productos físicos marginales con respecto al nitrógeno (N), Distanciamiento entre plantas (D) y cobertura plástica (P) se igualaron con el costo marginal (precio del insumo), como se muestra a continuación:

Nitrógeno

$$\left(\frac{\partial y}{\partial N}\right) \times Py = VPM_N \quad [4]$$

$$\frac{\partial y}{\partial N} = (1074.7220 - 0.0489N^2) \times \$0.81 = \$0.33 \quad [4]$$

$$N = \frac{\pm\sqrt{-870.21682}}{-0.039609} = 148.22$$

$$N = 148.22$$

Distanciamiento entre plantas

$$\left(\frac{\partial y}{\partial D}\right) \times Py = VPM_D \quad [5]$$

$$\frac{\partial y}{\partial N} = (3624.1624 - 3.8311D^2) \times \$0.81 = \$0.01 \quad [5]$$

$$N = \frac{\pm\sqrt{-2935.561544}}{-3.103191} = 30.76$$

$$\mathbf{D = 30.76}$$

Cobertura plástica

$$\left(\frac{\partial y}{\partial P}\right) \times Py = VPM_P \quad [6]$$

$$\frac{\partial y}{\partial N} = (1123.1111) \times \$0.81 = \$277.83 \quad [6]$$

$$\$909.72 = \$277.83$$

$$\$909.72 - \$277.83 = 0$$

$$\mathbf{P = \$631.89}$$

Para optimizar la producción desde el punto de vista económico se deben aplicar 148.22 kg/ha de nitrógeno a un distanciamiento de 30.76 cm entre plantas.

Al utilizar la cobertura plástica se ganan \$631.89 más.

El impacto que causa el precio de los insumos en la producción y en la utilidad máxima se evaluó haciendo la relación entre el precio de cada uno de los insumos con el precio del producto.

$$\frac{v}{py} \quad [7]$$

Donde:

v es el precio del insumo

py es el precio del producto

Nitrógeno

$$N = \frac{0.308}{0.81} = 0.407 \quad [7]$$

Distanciamiento

$$D = \frac{0.01}{0.81} = 0.012 \quad [7]$$

Cobertura P.

$$P = \frac{277.8}{0.81} = 342 \quad [7]$$

El insumo que tiene menor impacto de acuerdo al precio y la producción de lechuga es el distanciamiento porque éste se mide de acuerdo al número de plantas por hectárea.

La ley de los retornos marginales decrecientes para ésta función muestra que las altas cantidades de nitrógeno y amplios distanciamientos entre plantas dan como resultado una reducción en la producción.

3.4.1 Análisis de costos incrementales

El cuadro N° 15 a continuación presenta el análisis de los costos incrementales por la utilización de la cobertura plástica.

Cuadro 15. Análisis incrementales del cultivo de lechuga con la utilización del plástico

	Unidad de medida	Cantidad	Precio en \$	Total
Plástico (utilización para 3 ciclos)	ms/ha	6,700	0.10	\$ 680.77
Instalación de plástico con tractor	hrs/ha	200	1.21	<u>80.58</u>
Sub total				\$76135
(-) 2 desmalezado por ciclo	hrs/ha	400	1.21	<u>(484.00)</u>
Total				\$277.83
Producción incremental con plástico	Kg/ha	1123.111	0.81	909.72
(-) Costo de utilizar el plástico				<u>(277.83)</u>
Ganancia adicional				\$631.89

Fuente: Autor

Los \$277.83 representan lo que el productor invierte de forma incremental si utiliza el plástico, al no utilizarlo el debería pagar \$484.00 por los dos desmalezados que se realizan durante el ciclo, y \$631.89 representan la ganancia adicional del productor por la utilización del plástico dentro su producción.

3.5 ANÁLISIS DE SEPARACIÓN DE MEDIAS

Éste análisis se hizo para determinar si las medias de los tratamientos difieren estadísticamente entre si.

El cuadro N° 16 a continuación muestra como el tratamiento a 30 cm de distanciamiento y 150 kg/ha con cobertura plástica, difiere de todos los tratamientos numéricamente en rendimientos, además se puede observar, como el resto de los tratamientos son otras alternativas para el productor, en el caso de que este no pudiera maximizar sus ganancias por tener alguna limitante presupuestaria.

Cuadro 16. Rendimientos de lechuga a partir de las tres variables estudiadas

Dosis (kg/ha)	Distanciamiento (cm)	Cobertura plástica	Media (kg/ha)	
125	25	SI	18894	C
125	25	NO	18293	C
125	30	SI	21673	BC
125	30	NO	20317	C
125	35	SI	20183	BC
125	35	NO	19707	C
150	25	SI	19007	C
150	25	NO	20229	BC
150	30	SI	29883	A
150	30	NO	25883	AB
150	35	SI	23836	AC
150	35	NO	21967	BC
175	25	SI	18283	C
175	25	NO	17608	C
175	30	SI	18813	C
175	30	NO	17333	C
175	35	SI	18100	C
175	35	NO	17228	C

Fuente: Autor

En la figura N° 8 a continuación se puede observar como el tratamiento que obtuvo más rendimientos fue a 150 kg/ha y 30 cm de distanciamiento para ambos escenarios con y sin cobertura plástica respectivamente y además se puede observar el aumento significativo de los rendimientos por la utilización de la cobertura plástica.

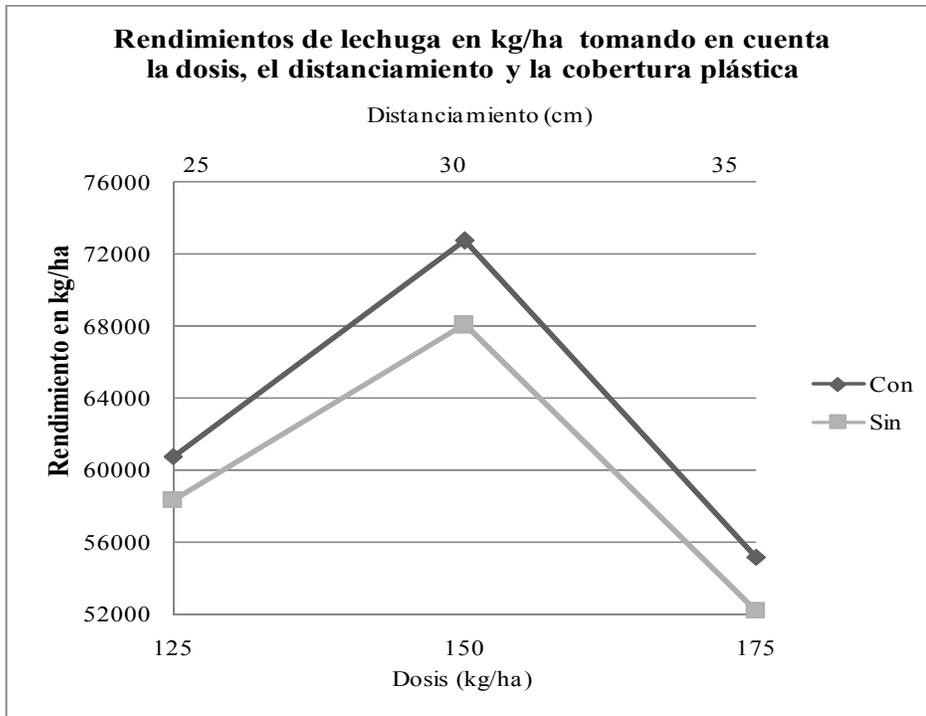


Figura 8. Rendimientos de lechuga en kg/ha a partir de la tres variables estudiadas
Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

- El modelo que mejor refleja la relación existente entre el nitrógeno, el distanciamiento entre plantas y la cobertura plástica es el N° 2 y la función de producción que lo estima es la siguiente; $y = -1554465.5625 + 1074.7220N - 0.0163N^3 + 3624.1624D - 1.2767D^3 + 1123.1111P$.
- La cobertura plástica crea un impacto que se refleja como una constante en la función con 1123.1111 kg/ha de lechuga más, generando una ganancia extra de \$631.89.
- De acuerdo a las condiciones del mercado se estima que el punto económico se encuentra en la aplicación de 148.22 kg de nitrógeno por hectárea a un distanciamiento de 30.76cm entre plantas.
- El máximo físico alcanzado en la producción fue 34,450 y 33,540 kg/ha de lechuga con y sin cobertura plástica respectivamente dado por el tratamiento "F2D2" es decir a un nivel 150kg por hectárea y un distanciamiento de 30cm entre plantas.

5. RECOMENDACIONES

- Ante la amplia versatilidad de las funciones de producción se recomienda aplicar el modelo encontrado en el presente estudio a una zona de producción comercial y de esta manera validar los resultados obtenidos en el ensayo de campo que llevó a determinar los máximos de producción y óptimos económicos para el cultivo de lechuga.
- Hacer el experimento con el cultivar Iceberg ó lechuga de cabeza ya que es el que más se consume a nivel de Honduras y el mundo.

6. LITERATURA CITADA

Arias, F.2008. Economía de la producción. Guía de estudio. Valle del Yeguaré, Universidad Zamorano.HN.

ASFEE (Centro de Agronegocios Santa Fe, HN). Perfil del mercado de la lechuga y la escarola (en línea). Consultado 21 Jun. 2009. Disponible en www.fintrac.com/docs/honduras/CDA_Update_06_2001_Esp.pdf

Blanco, R. 1974. Economía Agrícola. Guía de clases para estudiantes de Ciencias Agronómicas. Departamento de Estudios Agrosocioeconómicos. Universidad de El Salvador. El Salvador.

Cáceres, E.1980.Producción de hortalizas: peciolas y hojas. San José, CR. Instituto Americano de Ciencias Agrícolas, IICA. 180 p.

Carballo, A; Quiroga, V. 1976. Manual práctico para el análisis de experimentos de campo. IICA, División de Procesamiento de Datos. San José, Costa Rica. 113 p.

Davis, R. 2002. Plagas y enfermedades de la lechuga: origen é historia de la lechuga.Grupo Mundi - Prensa. Distrito Federal, MX. American Phytopathological Society, 79p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. División estadística: producción agrícola (en línea), Tegucigalpa, HN. Consultado 17 Jun. 2009. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

INFOAGRO (Servicio de información Agroalimentaria, HN). Precios de venta al por mayor de productos agrícolas en los mercados de Tegucigalpa y San Pedro Sula basado en datos de SIMPAH (en línea). Consultado en 20 Sep.2009. Disponible en <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>

Jerez M.; Sotoca. S. 2007. Econometría I: multicolinealidad. Guía de Estudio. Universidad Complutense de Madrid (en línea). Madrid, ES. Consultado 2 Oct. 2009. Disponible en <http://www.ucm.es/info/ecocuan/mjm/ectrlmj/Multicolinealidad.pdf>

MAROTO, J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. 5º Edición. Madrid Barcelona, Ediciones Mundi Prensa, 702 p.

R. Lardizábal, 2005. Programa de fertilización de lechuga: programa de cálculos, FINTRAC (en línea). Kingston, JAM. Consultado 2 Jun. 2009. Disponible en http://www.mcahonduras.hn/documentos/PublicacionesEDA/Sistemas%20de%20informacion%20de%20mercado/EDA_Mkt_Info_05_sa_03_production_12_07.pdf

SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería, HN). Datos generales de horticultura (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado 05 Jun. 2009. Disponible en http://www.sag.gob.hn/index.php?option=com_content&task=view&id=1996&Itemid=1029

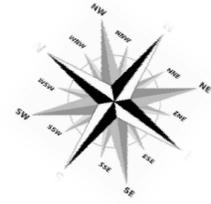
SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería, HN). Ficha técnica de la lechuga (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado 13 Jun. 2009. Disponible en <http://www.sag.gob.hn/infoagro/cadenas/fichas/hortifruticola/Ficha%20Tecnica%20Lechuga.pdf>

SAG (Secretaría de agricultura y Ganadería, HN). Informe de la SAG para octubre del 2008: SAG promueve comercialización entre productores de Intibucá APROHFI y PRICE SMART (en línea). Consultado 29 Jun. 2009. Disponible en http://www.sag.gob.hn/index.php?option=com_content&task=view&id=2005&Itemid116

Vigliola, M. 1989. Manual de horticultura. Buenos Aires, AR. Editorial Hemisferio Sur. 172 p.

Wooldridge. J. 2001. Introducción a la econometría, un enfoque moderno: temas avanzados. Distrito Federal, MX. International Thomson Editores, S. A. 785p.

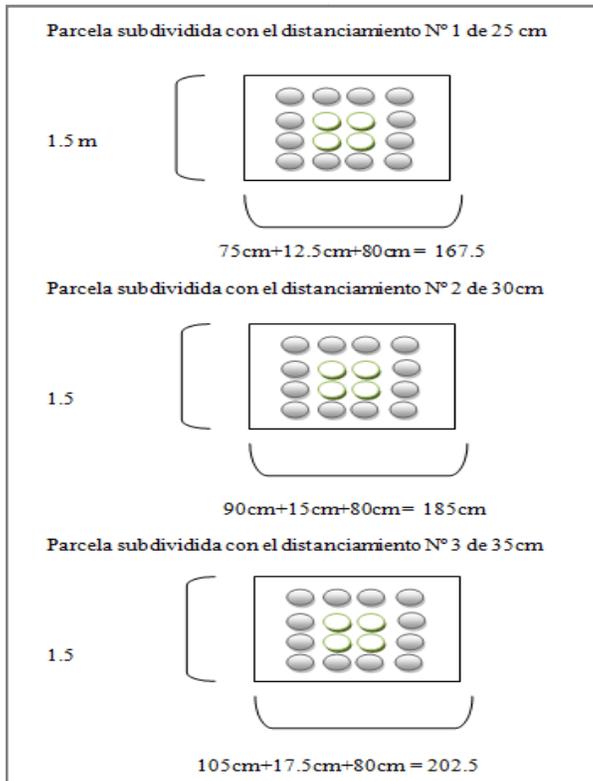
7. ANEXOS



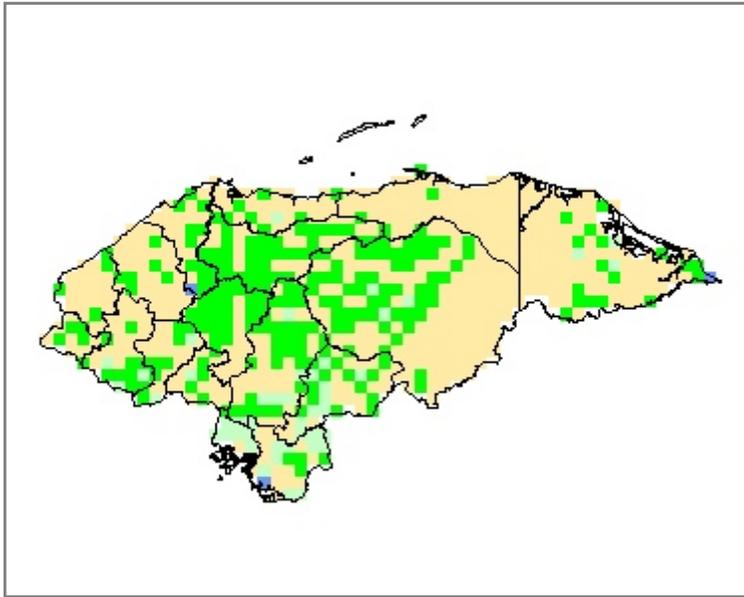
R1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	F2D2	F1D1	F1D2	F1D3	F2D3	F3D1	F3D3	F3D2	F2D1
R2	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	F2D1	F2D2	F1D3	F1D1	F3D2	F3D1	F1D2	F2D3	F3D3
R3	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	F3D1	F1D2	F3D2	F2D1	F2D2	F2D3	F3D3	F1D3	F1D1

← 16 m →

Anexo 1. Croquis de la distribución de los tratamientos para la lechuga en el campo
Fuente: Autor



Anexo 2. Unidad experimental del ensayo en campo de la lechuga
Fuente: Autor



Anexo 3. Mapa de zonas agrícolas de Honduras
Fuente: FAO

<i>Results of multiple regression for produccion</i>						
Summary measures						
Multiple R	0.7602					
R-Square	0.5779					
Adj R-Square	0.5240					
StErr of Est	2575.8345					
ANOVA Table						
Source	df	SS	MS	F	p-value	
Explained	6	426922394.8148	71153732.4691	10.7241	0.0000	
Unexplained	47	311841376.0000	6634922.8936			
Regression coefficients						
	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	-170162.5625	31483.0723	-5.4049	0.0000	-233498.3334	-106826.7916
N	1172.7021	220.5875	5.3163	0.0000	728.9374	1616.4669
N3	-0.0163	0.0026	-6.1835	0.0000	-0.0217	-0.0110
D	4114.0625	1102.9374	3.7301	0.0005	1895.2387	6332.8863
D3	-1.2767	0.3305	-3.8632	0.0003	-1.9416	-0.6119
N*D	-3.2660	4.2063	-0.7765	0.4414	-11.7280	5.1960
P	1123.1111	701.0533	1.6020	0.1158	-287.2263	2533.4485

Anexo 4. Modelo N° 1 de regresión para la función de producción de lechuga
Fuente: Autor

<i>Results of multiple regression for produccion</i>						
<i>Summary measures</i>						
Multiple R	0.7602					
R-Square	0.5779					
Adj R-Square	0.5240					
StErr of Est	2575.8345					
<i>ANOVA Table</i>						
Source	df	SS	MS	F	p-value	
Explained	6	426922394.8148	71153732.4691	10.7241	0.0000	
Unexplained	47	311841376.0000	6634922.8936			
<i>Regression coefficients</i>						
	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	-127186.7813	26956.8359	-4.7182	0.0000	-181416.9393	-72956.6232
N	811.5999	176.1619	4.6071	0.0000	457.2079	1165.9918
N3	-0.0001	0.0000	-6.1835	0.0000	-0.0001	0.0000
D	2986.0513	880.8093	3.3901	0.0014	1214.0916	4758.0109
D3	-0.0212	0.0055	-3.8632	0.0003	-0.0322	-0.0102
N*D	-3.2660	4.2063	-0.7765	0.4414	-11.7280	5.1960
P	1123.1111	701.0533	1.6020	0.1158	-287.2263	2533.4485

Anexo 5 Modelo N° 3 de regresión para la función de producción de lechuga

Fuente: Autor

<i>Results of multiple regression for produccion</i>						
<i>Summary measures</i>						
Multiple R	0.7566					
R-Square	0.5725					
Adj R-Square	0.5279					
StErr of Est	2565.1567					
<i>ANOVA Table</i>						
Source	df	SS	MS	F	p-value	
Explained	5	422922362.8148	84584472.5630	12.8547	0.0000	
Unexplained	48	315841408.0000	6580029.3333			
<i>Regression coefficients</i>						
	Coefficient	Std Err	t-value	p-value	Lower limit	Upper limit
Constant	-112489.7813	19113.7988	-5.8853	0.0000	-150920.6488	-74058.9137
N	713.6198	122.4099	5.8298	0.0000	467.4983	959.7414
N3	-0.0001	0.0000	-6.2093	0.0000	-0.0001	0.0000
D	2496.1514	612.0494	4.0783	0.0002	1265.5436	3726.7591
D3	-0.0212	0.0055	-3.8793	0.0003	-0.0322	-0.0102
P	1123.1111	698.1472	1.6087	0.1142	-280.6080	2526.8301

Anexo 6. Modelo N° 4 de regresión para la función de producción de lechuga

Fuente: Autor

Anexo 7. Pesos de lechuga extrapolados a kg/ha

Trt.	cm	Dosis	Cobertura	Kg/Ha
Y1	25	125	0	15430
Y2	30	125	0	20230
Y3	35	125	0	19860
Y4	25	150	0	16450
Y5	30	150	0	23900
Y6	35	150	0	25300
Y7	25	175	0	16200
Y8	30	175	0	17430
Y9	35	175	0	17340
Y10	25	125	1	16348
Y11	30	125	1	21230
Y12	35	125	1	19950
Y13	25	150	1	16700
Y14	30	150	1	25340
Y15	35	150	1	27658
Y16	25	175	1	16800
Y17	30	175	1	18345
Y18	35	175	1	17900
Y19	25	125	0	18750
Y20	30	125	0	20420
Y21	35	125	0	20570
Y22	25	150	0	20000
Y23	30	150	0	28450
Y24	35	150	0	21600
Y25	25	175	0	17865
Y26	30	175	0	17050
Y27	35	175	0	18000
Y28	25	125	1	19100
Y29	30	125	1	22340
Y30	35	125	1	20900
Y31	25	150	1	19730
Y32	30	150	1	29860
Y33	35	150	1	24350
Y34	25	175	1	18400
Y35	30	175	1	19345
Y36	35	175	1	18900
Y37	25	125	0	20700
Y38	30	125	0	20300
Y39	35	125	0	18690
Y40	25	150	0	24236
Y41	30	150	0	25300

Y42	35	150	0	19000
Y43	25	175	0	18760
Y44	30	175	0	17520
Y45	35	175	0	16345
Y46	25	125	1	21234
Y47	30	125	1	21450
Y48	35	125	1	19700
Y49	25	150	1	20590
Y50	30	150	1	34450
Y51	35	150	1	19500
Y52	25	175	1	19650
Y53	30	175	1	18750
Y54	35	175	1	17500

Fuente: Autor

Anexo 8. Presupuesto del ensayo realizado para la lechuga

Presupuesto del experimento						
		Unidad	Costo U (L.)	Costo U (\$)	Total (L.)	Total (\$)
Mecanizacion del Suelo						
Arado	Ha	0.0144	10.944	0.58	0.1575936	0.01
Rastreado	Ha	0.0144	10.944	0.58	0.1575936	0.01
Acamado	Ha	0.0144	10.944	0.58	0.1575936	0.01
Insumos						
Plantulas	Plantula	900	0.28	0.01	252	13.26
Materiales						
Mulch plástico	ms	35	2.9	0.15	101.5	5.34
Fertilizantes						
NH4NO3	Lbs.	12	2.67	0.14	32.04	1.69
Riego						
Mangueras	# de mts.	18	0.7	0.04	126	6.63
TOTAL					512.01	26.95

Fuente: El autor