

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO
DE MAÍZ Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO; BAJA VERAPAZ

TESIS DE GRADO

JOSÉ JUAN GONZÁLEZ LÓPEZ
CARNET 20603-10

ZACAPA, JUNIO DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO
DE MAÍZ Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO; BAJA VERAPAZ

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JOSÉ JUAN GONZÁLEZ LÓPEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS
HORTÍCOLAS

ZACAPA, JUNIO DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. FREDY SAMUEL CORONADO LÓPEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ÁNGEL OTTONIEL CORDÓN GARCÍA

MGTR. YULMA YANILETH TOBAR SALAZAR

ING. JOSÉ ÁNGEL URZÚA DUARTE

Guatemala, 21 de febrero de 2017

Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago contar que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Jose Juan Gonzalez López, que se identifica con carné 2060310, titulado: **"Evaluación del efecto técnicas de agricultura de conservación sobre el rendimiento del cultivo de maíz y propiedades físicas del suelo, en el área de influencia del corredor seco, de baja Verapaz."**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito sea revisado por la terna que designe el Honorable Consejo de la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. Fredy Samuel Coronado López
Colegiado 2044
Código URL: 16998

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOSÉ JUAN GONZÁLEZ LÓPEZ, Carnet 20603-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS, del Campus de Zacapa, que consta en el Acta No. 0634-2017 de fecha 22 de abril de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO; BAJA VERAPAZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS HORTÍCOLAS.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 5 días del mes de junio del año 2017.



MGTR. LUIS MOISES PENATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Agr. Fredy Samuel Coronado López, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Gerente general Ing. Agr. Mairor Osorio de Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola I, por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

Ing. Polo Calel, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quién siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: José Lino González y concepción del rosario López a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

Mi familia: Abuelos, hermanos, tíos, primos, sobrinos y cuñados que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEORICO	2
2.1 CULTIVO DE MAÍZ	2
2.1.1 Clasificación y descripción botánica del maíz.....	2
2.1.2 Crecimiento y desarrollo del maíz	4
2.1.3 Condiciones agroecológicas de maíz	6
2.1.4 Selección de variedades e híbridos	8
2.1.5 Usos del maíz.....	8
2.1.6 Maíz ICTA B-7	9
2.2 AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN.....	10
2.2.1 Ventajas de la agricultura de conservación.....	12
2.2.2 Limitaciones de la agricultura de conservación.....	14
2.3 USO DE RASTROJOS.....	14
2.4 LABOREO DE CONSERVACIÓN.....	17
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
IV. OBJETIVOS	26
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
V. HIPOTESIS	27
5.1 Hipótesis alterna.....	27
VI. METODOLOGIA	28
6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL.....	29
6.3 FACTORES ESTUDIADOS	30
6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS.....	30
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
6.6 MODELO ESTADÍSTICO.....	30
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	31
6.8 CROQUIS DE CAMPO.....	31
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO	32
6.10 VARIABLES RESPUESTA.....	33
6.10.1 Calidad del suelo	33
6.10.2 Sanidad del cultivo.....	33
6.10.3 Componentes del rendimiento	33

6.10.4 Rentabilidad	34
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	35
6.11.1 Análisis estadístico	35
6.11.2 Análisis económico.....	35
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
7.1 CALIDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAÍZ	36
7.2 INDICADORES DE LA SANIDAD DEL CULTIVO DE MAIZ.....	38
7.3 RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ ICTA B-7	40
7.3.1 Altura de planta de maíz ICTA B-7.....	40
7.3.2 Días a floración de maíz ICTA B-7	42
7.3.3 Peso de 100 granos de maíz ICTA B-7	43
7.3.4 Rendimiento de maíz ICTA B-7	44
7.4 Interacciones de las variables evaluadas	46
7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ ICTA B-7	50
VIII. CONCLUSIONES	51
IX. RECOMENDACIONES.....	52
X. BIBLIOGRAFÍA.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINAS
FIGURA No. 1 Fases de crecimiento y desarrollo del maíz (Acevedo, 2005)	7
FIGURA No. 2 Ubicación de San Jerónimo, Baja Verapaz.....	28
FIGURA No. 3 Croquis de Campo	31
FIGURA No. 4 Representativa del estado de calidad de suelo.....	37
FIGURA No. 5 Representativa del estado de sanidad del cultivo.	39
FIGURA No. 6 Análisis de medias de Tukey, para la altura de planta de maíz.	41
FIGURA No. 7 Análisis de medias de Tukey por días de floración	43
FIGURA No. 8. Análisis de medias de Tukey para el peso de 100 gramos de maíz.....	44
FIGURA No. 9 Analisis de medias de Tukey, para rendimiento de maíz.	45
FIGURA No. 10 Interacción entre el rendimiento vs calidad del suelo en el maíz.....	47
FIGURA No. 11 Interacción entre el rendimiento vs sanidad del cultivo de maíz.....	48
FIGURA N. 12 Interacción entre el rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo de maíz.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINAS
CUADRO No. 1 Tratamientos evaluados.	30
CUADRO No. 2 Valores de los indicadores de la calidad de suelo.....	36
CUADRO No. 3 Valores de indicadores de la sanidad del cultivo de maíz.	40
CUADRO No. 4 Análisis de varianza de la altura de planta de maiz icta b-7.....	41
CUADRO No. 5 Análisis de varianza a días a floración de la plnta de maíz	42
CUADRO No. 6 Análisis de varianza de 100 gramos de maiz.	44
CUADRO No. 7 Análisis de varianza del rendimiento de maíz de variedad icta b-7	45
CUADRO No. 8 Rentabilidad en la producción de maíz icta b-7	50

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO, DE BAJA VERAPAZ

RESUMEN

El estudio tuvo como finalidad evaluar los efectos de las prácticas de agricultura de conservación sobre la calidad del suelo, sanidad y rendimiento del cultivo de maíz en el Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, San Jerónimo, Baja Verapaz. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Se determinó la calidad del suelo y sanidad del cultivo a través del método agrologico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales, así como; las características del rendimiento y rentabilidad del maíz var. ICTA B-7. Los resultados mostraron: en lo referente a la Fito sanidad del cultivo, calidad de suelo, rendimiento y rentabilidad que el mejor tratamiento fue cuando se utilizó labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal, con valores de 4.4, 6.1, 4,019.67 kg/ha y 27.04% respectivamente. Considerando los resultados obtenidos se recomienda técnica y económicamente a los productores de maíz de la var. ICTA B-7 del área de influencia del estudio, el uso labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal, así como; revalidar los resultados del estudio en otras zonas del corredor seco de Guatemala; y por un periodo prolongado de al menos 5 años.

EVALUATION OF CONSERVATION AGRICULTURE TECHNIQUES ON THE YIELD OF CORN AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN BAJA VERAPAZ

SUMMARY

The purpose of this study was to assess the effects of conservation agriculture practices on soil quality, health and corn yield in the Northern Research Center of the Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, San Jerónimo, Baja Verapaz. A complete randomized block design with nine treatments and three replicates was used. The soil quality and crop health were determined through the Rapid Agroecological Method for evaluating the sustainability of coffee plantations, as well as the characteristics of the yield and profitability of the ICTA B-7 corn variety. The results regarding plant health, soil quality, yield and profitability demonstrated that the best treatment was the one that consisted of minimum tillage with normal furrow, crop shims and 100% of plant stubble, with values of 4.4, 6.1, 4, 019.67 kg/ha and 27.04%, respectively. Considering the results obtained, it is technically and economically recommended that producers of ICTA B-7 variety corn, in the studied area, use minimum tillage with normal furrow, crop shims and 100% of plant stubble, as well as to revalidate the results of the study in other areas of the dry corridor of Guatemala and to carry out the same for an extended period of at least 5 years.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar del cambio climático y los riesgos que conlleva para el sector agropecuario en el corredor seco de Guatemala, la frecuencia de fracasos de cosecha o bajos rendimientos, inundaciones, deslizamientos, etc., se atribuye a las prácticas tradicionales de los agricultores sobre laderas y tierras marginales. En los últimos años se ha venido fomentando la agricultura de conservación (AC) para mejorar la productividad agrícola, de manera que los recursos naturales puedan preservarse (FAO, 2011).

La Agricultura de Conservación abarca técnicas que reducen, cambie o elimine el laboreo y evite la quema de rastrojos para mantener suficientes residuos en la superficie durante todo el año. Protegiendo al suelo de la erosión, de la lluvia y de la escorrentía de las aguas. Los agregados del suelo, la materia orgánica y el nivel de fertilidad se incrementan, disminuye la contaminación de las aguas superficiales, se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera y aumenta la biodiversidad.

En el área de Baja Verapaz en la zona de la Falla del Motagua, los suelos se caracterizan por ser: suelos pobres en nutrientes minerales, toxicidad por aluminio, fuerte adsorción de fosfatos y la alta susceptibilidad a la erosión, lo que restringe su uso. Los agricultores usan estos suelos para cultivos de subsistencia, como el maíz y frijol, bajo condiciones de ladera y prácticas agrícolas tradicionales, lo que lleva cada vez a un suelo más pobre.

Por lo anterior, la agricultura de conservación se constituye como una alternativa de producción sostenible para los productores de granos básicos en pequeña escala, principalmente en las áreas de escasa y/o errática presencia de lluvias y suelos de baja fertilidad (FAO, 2011). Por lo que el presente estudio tuvo como objetivo: Evaluar el efecto de las prácticas de agricultura de conservación sobre la calidad del suelo, sanidad del cultivo y rendimiento de maíz, en el Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, San Jerónimo, Baja Verapaz.

II. MARCO TEORICO

2.1 CULTIVO DE MAÍZ

El maíz pertenece a la familia Poaceae, Tribu Maydeae. Esta tribu incluye tres géneros de origen americano: *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaena* o *Teocinte*. Tanto el *Teocinte* como el *Tripsacum* han sido considerados como parientes cercanos al maíz (Deras, 2012).

El maíz es un alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran a América y se dice que a Europa fue llevado por Cristóbal Colón. En las civilizaciones indígenas jugó un papel fundamental en las creencias religiosas y en su alimentación (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales -FENALCE-, 2010).

El maíz es una planta domesticada y ha vivido y evolucionado conjuntamente con el hombre desde tiempos remotos. Por esta razón, el maíz no crece en forma silvestre y no puede sobrevivir en la naturaleza, sin los cuidados del hombre. Fue el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, que incluyó la producción de híbridos de un alto potencial productivo. El maíz es una de las especies cultivadas con mayor potencial de producción y el de mayor rendimiento de grano por hectárea (FENALCE, 2010).

2.1.1 Clasificación y descripción botánica del maíz

De acuerdo con la clasificación efectuada por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo -OECD-, (2003), en la clasificación para el maíz del hemisferio occidental, el género *Zea* pertenecen a la Tribu Maydeae y se clasifica de la siguiente forma:

Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Maydeae
Género: *Zea*
Especie: *mays*

La descripción de la planta es la siguiente:

Sistema radicular

El sistema radicular del maíz se desarrolla a partir de la radícula de la semilla, que ha sido sembrada a una profundidad adecuada, para lograr su buen desarrollo. El crecimiento de las raíces disminuye después que la plúmula emerge, y virtualmente, detiene completamente su crecimiento en la etapa de tres hojas de la plántula (Deras, 2012).

Las primeras raíces adventicias inician su desarrollo a partir del primer nudo en el extremo del mesocotilo; esto ocurre, por lo general, a una profundidad uniforme, sin relación con la profundidad con la que fue colocada la semilla. Un grupo de raíces adventicias se desarrolla a partir de cada nudo sucesivo hasta llegar a los siete o diez nudos, todos debajo de la superficie del suelo. Estas raíces adventicias se desarrollan en una red espesa de raíces fibrosas. El sistema de raíces adventicias es el principal sistema de fijación de la planta, y además absorbe agua y nutrimentos. Mistrik y Mistrikova (1995) citados por Deras (2012) encontraron que el sistema de raíces adventicias seminales constituye cerca del 52% y que el sistema de nudos de las raíces es el 48% de la masa total de raíces de la planta de maíz.

Tallo

El tallo de la planta es robusto, formado por nudos y entrenudos más o menos distantes; presenta de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadoras de 4 a 10 cm de ancho por 35 a 50 cm de longitud; tienen borde áspero, finamente ciliado y algo ondulado. Desde el punto donde nace el pedúnculo que sostiene la mazorca, la sección del tallo

es circular hasta la panícula o inflorescencia masculina que corona la planta (Deras, 2012).

Flor

El maíz es normalmente monoico, con inflorescencia terminal estaminada (panoja) o flor masculina; y flores femeninas pistiladas, ubicadas en yemas laterales (mazorcas); así, el maíz produce su rendimiento económico (grano) en ramificaciones laterales. Como resultado de esta separación de mazorca y panoja, y del fenómeno llamado protandria en la floración, el maíz es una especie alógama (de polinización cruzada) y su tipo de inflorescencia ha permitido la producción de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación (Deras, 2012).

2.1.2 Crecimiento y desarrollo del maíz

De acuerdo a Acevedo (2005), los cambios morfológicos externos e internos que presenta el cultivo durante su crecimiento y desarrollo se dividen en tres etapas que son: vegetativa, reproductiva y llenado de granos.

Las fases de crecimiento y desarrollo del maíz (Figura 1), según Acevedo (2005) son las siguientes:

Fase vegetativa (V): contempla la germinación de la semilla, emergencia del cultivo (VE:) y desarrollo de las hojas del mismo. Cada hoja que se desarrolla marca una etapa dentro de la fase vegetativa. V1, es una hoja, V2, dos hojas y así sucesivamente, hasta V16 o V18 generalmente. Es importante el desarrollo de hojas, ya que de la axila de cada una de ellas podría nacer una, futura espiga (flor femenina).

Además el maíz elonga su tallo durante esta fase. Cuando se produce la aparición de la panoja (flor masculina) en la punta del tallo, estadio denominado VT, el maíz pasa a su fase reproductiva.

Fase reproductiva (R): El maíz desarrolla estructuras reproductivas o flores. En este cultivo, a diferencia del trigo, flores femeninas y masculinas se encuentran separadas. Las flores femeninas se encuentran en las espigas que nacen desde la axila de las hojas y las masculinas en la panoja localizada en el extremo superior del tallo. Las flores masculinas generalmente maduran más tempranamente que las femeninas. Es decir, cuando comienza la liberación del polen desde la panoja, las espigas todavía no están maduras. Pero este desfase, que es de pocos días, no impide la fecundación de las flores femeninas contenidas en la espiga, ya que también existe un desfase de polinización entre las plantas del cultivo. Se denomina R1 al estadio de flores femeninas en floración, preparadas para ser fecundadas por el polen.

La planta, que hasta el momento utilizaba todos sus nutrientes para el desarrollo de las hojas, desvía sus recursos para el desarrollo de los órganos reproductivos, donde como producto de la floración y fecundación se producen los granos. La cantidad de espigas por planta, hileras de granos por espiga, y granos por hilera, queda definidos en esta etapa. Todos estos elementos tendrán una influencia fundamental en el rendimiento del cultivo.

Llenado de grano: La planta concentra todos sus recursos en el llenado del grano, definiendo el peso final de los mismos. El llenado de granos presenta tres períodos bien definidos según la tasa de acumulación de materia seca en los granos. La primera etapa, R2, el grano crece en tamaño por división de sus células, pero la tasa de llenado de esas células con materia seca es baja. La segunda etapa, R3-R4, la tasa de llenado de granos es máxima, y en la tercer etapa R5, la misma disminuye gradualmente hasta llegar a ser nula, acompañada de una pérdida de humedad. Este estadio, R6, se denomina madurez fisiológica y se identifica porque los granos forman una capa negra en su punta. Queda definido el peso de los granos. El peso de los granos, junto a todos los demás factores determinados en etapas anteriores, define el rendimiento final del cultivo.

Cosecha: Una vez terminado el período de llenado de grano, llegado al estadio de madurez fisiológica, el grano comienza a perder humedad. El punto óptimo para cosechar el cultivo es cuando la humedad del grano llega al 14%. Si se cosecha con mayor humedad, los granos deberán ser secados artificialmente para estar en condiciones de ser almacenados. Esto implicaría incurrir en mayores costos.

2.1.3 Condiciones agroecológicas de maíz

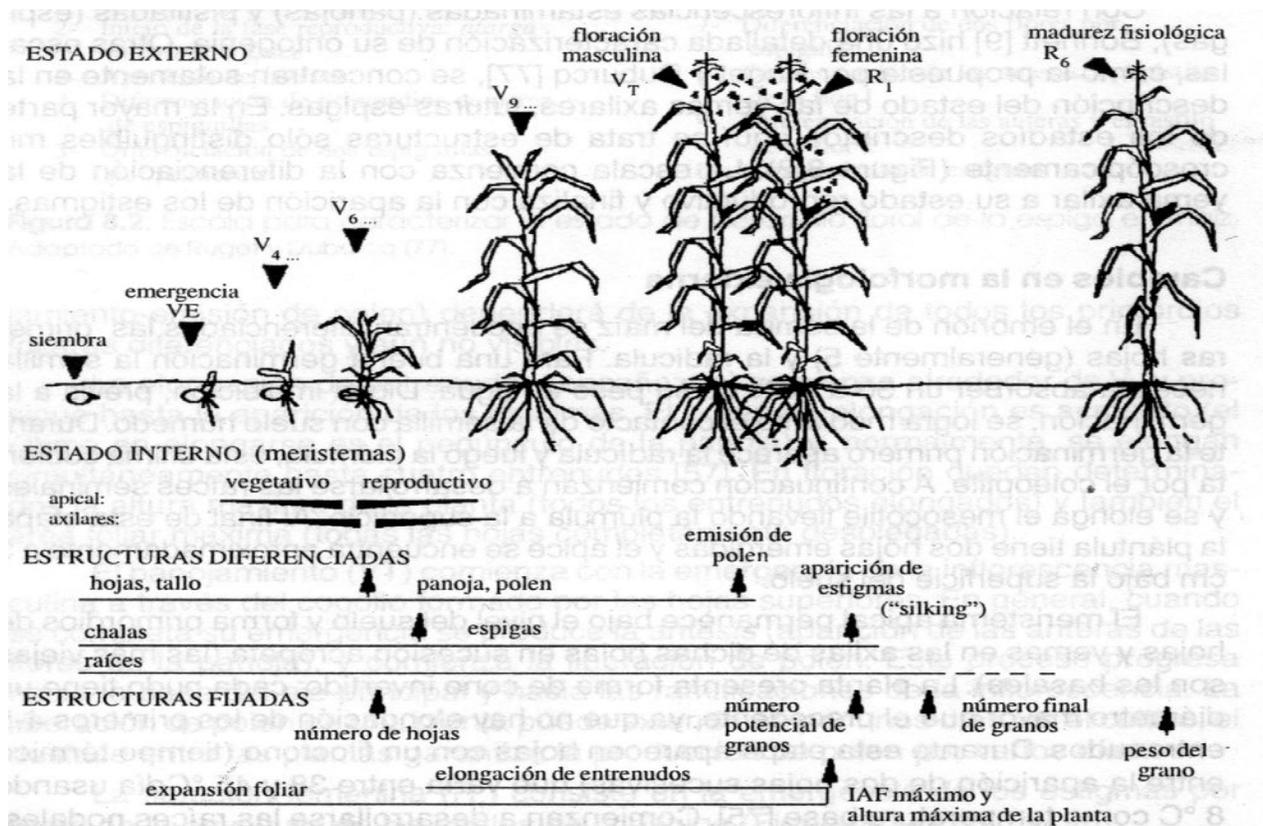
Según Cruz (2013), el maíz es un cultivo de crecimiento rápido (3 a 5 meses), que proporciona un mayor rendimiento con temperaturas moderadas y un suministro adecuado de agua, con excepción en la zona alta donde su crecimiento llega hasta los 8 meses; su adaptación oscila entre 0 a 2500 m.s.n.m.

El maíz requiere una temperatura de entre 24.4 a 35.6 °C., siendo una media de 32 °C la temperatura ideal para lograr una óptima producción. Requiere de bastante cantidad de luz solar, bajando sus rendimientos en los climas húmedos. La temperatura debe estar entre los 15 a 27 °C., para que se produzca la germinación en la semilla. Puede soportar una temperatura mínima de 8 °C y máximas de 39 °C, pero a partir de los 40 °C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes y una baja polinización (Cruz, 2013).

En el período de fructificación la planta requiere temperaturas de 20 a 32 °C. El clima ideal para el maíz, es un ambiente con días soleados, noches frescas, temperaturas y vientos moderados (Cruz, 2013).

Requerimientos hídricos

El agua en forma de lluvia es necesaria y benéfica ya que en ciertas ocasiones existe un control de plagas en forma natural, sobre todo cuando la planta está en el período de crecimiento. Una variedad tropical de maíz con un ciclo de cultivo de 120 días, requiere aproximadamente de 600 a 700 mm de agua durante su ciclo vegetativo (Cruz, 2013).



Escala Ritchie y Hanway, 1982.

Figura 1. Fases de crecimiento y desarrollo del maíz (Acevedo, 2005).

En el cultivo de maíz los riegos pueden realizarse por aspersión, por gravedad y por goteo. El riego más empleado es por aspersión. Las necesidades hídricas o de agua varían en las diferentes fases del cultivo, cuando las plantas comienzan a nacer requieren una menor cantidad de agua pero manteniendo una humedad constante. Durante la fase del crecimiento vegetativo es cuando se requiere una mayor cantidad de agua y se recomienda realizar riegos suplementarios, entre unos 8 a 10 días antes de la floración, para evitar el estrés hídrico (Cruz, 2013).

La fase de floración es el período más crítico porque de ella depende el llenado del grano y la cantidad de producción obtenida, por lo que se recomienda, en esta fase, riegos que mantengan la humedad, para asegurar una eficaz polinización y un llenado total de granos. Aproximadamente el maíz necesita disponer de 5 mm de agua/día.

Para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada (Cruz, 2013).

Los suelos más apropiados para la producción de maíz son suelos francos o franco arcillosos con buen drenaje. Los factores físicos, químicos y ambientales son los que determinan la capacidad de producción de estos suelos (Cruz, 2013).

2.1.4 Selección de variedades e híbridos

La semilla es el insumo de menor costo por área en el cultivo de maíz, pero es el componente que más incide en la productividad. Es conveniente sembrar semilla mejorada de variedades genéticamente puras. En maíz hay dos tipos de variedades, las de polinización libre y las de polinización controlada o híbridos (Cruz, 2013).

Cuando el productor siembra una variedad de polinización libre, puede seleccionar semilla al momento de la cosecha para la próxima siembra, siempre y cuando no hay a otra variedad cerca de su lote. Lo anterior no se aplica cuando se siembra una variedad híbrida, ya que los rendimientos se reducen por pérdida del vigor híbrido o heterosis (Cruz, 2013).

Los híbridos producen mayores rendimientos pero son más exigentes en cuanto al manejo, principalmente en fertilización para que puedan expresar todo su potencial productivo (Cruz, 2013).

Los híbridos por ser superiores a las variedades de polinización libre son los de más alto costo, por lo tanto se recomiendan para las zonas donde no hay problemas de precipitación y para suelos con buena fertilidad; además es importante la capacidad económica del productor (Cruz, 2013).

2.1.5 Usos del maíz

La planta de maíz se utiliza toda, en múltiples y variados usos. Es el único cereal que puede ser utilizado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las

mazorcas jóvenes del maíz (filote o baby corn) cosechado antes de la floración son utilizadas como una hortaliza. Las mazorcas tiernas de maíz dulce y las mazorcas verdes, choclo, son usadas en gran escala, asadas o hervidas, o consumidas en el estado de pasta blanda. La planta de maíz que está aún verde, cuando se cosechan las mazorcas tiernas, proporciona un buen forraje para el ganado. El grano seco se usa para el consumo humano o animal y para la elaboración de una gran cantidad de productos industriales, incluyendo el etanol (FENALCE, 2010).

En el mundo se conocen más de 1000 productos derivados total o parcialmente del maíz. Estos productos incluyen tortillas, arepas, harinas, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, jarabes, whisky y combustible entre otros productos (FENALCE, 2010).

2.1.6 Maíz ICTA B-7

Maíz ICTA B-7, Es una variedad de maíz de polinización libre (VPL), presenta excelente arquitectura de planta y porte bajo, buen potencial de rendimiento y características agronómicas deseables como: tolerancia al acame de tallo y de raíz por lo que es menos afectada por la incidencia de fuertes vientos, tolerancia a enfermedades foliares y de la mazorca (Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas -ICTA-, 2010).

De acuerdo al ICTA (2010), presenta las siguientes características:

- Ciclo vegetativo: de 110 días.
- Días a floración: 53 días.
- Altura de la planta: 217 cm.
- Altura de la mazorca: 118 cm.
- Color y tipo de grano: Blanco semi-dentado.
- Rendimiento: 3,835 kg/ha.

Esta variedad se adapta a las condiciones marginales de la zona del Nor-Oriente y algunas regiones de la Costa Sur-Occidental de Guatemala. También se adapta a los

diferentes sistemas de siembra que practican los agricultores de la zona, tales como siembras en monocultivo y en asocio.

La densidad de siembra de esta variedad es de 50 a 58,000 plantas/ha, durante las épocas de siembra de primera y postrera.

2.2 AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Según Carranco (2010), la Agricultura de Conservación (AC), es el sistema que reduce la pérdida de suelo y agua en comparación con la agricultura convencional y además, retiene cantidades protectoras de residuos vegetales en la superficie, representando este sistema un enfoque de producción sostenible y de bajo costo, para incrementar el rendimiento y la rentabilidad actual de la producción de maíz sorgo y soya en el estado.

Según Verhulst, François y Govaerts (2015) y FAO (2015), el objetivo de la Agricultura de Conservación es lograr una agricultura sostenible y rentable y en consecuencia dirigida al mejoramiento del sustento de los agricultores mediante la aplicación de los tres principios siguientes:

1. Reducción en labranza: El objetivo es lograr un sistema con cero labranza (es decir, sin labranza) pero el sistema puede involucrar sistemas de siembra con labranza controlada que por lo general no perturben más del 20 al 25 % de la superficie del suelo.
2. Retención de los niveles adecuados de residuos del cultivo y cobertura de la superficie del suelo: El objetivo es la retención de suficientes residuos sobre el suelo para:
 - 2.1 Proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica;
 - 2.2 Reducir los escurrimientos de agua y la evaporación;
 - 2.3 Mejorar la productividad del agua; y
 - 2.4 Mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas con una productividad sustentable a largo plazo.

3. Uso de rotación de cultivos: El objetivo es usar una rotación de cultivos diversificados para:
 - 3.1 Ayudar a moderar/mitigar posibles problemas de malezas, enfermedades y plagas;
 - 3.2 Utilizar los efectos benéficos de algunos cultivos sobre las condiciones del suelo y sobre la productividad del próximo cultivo; y
 - 3.3 Proporcionar a los agricultores opciones económicamente viables que minimicen los riesgos.

La AC ofrece un potencial enorme para toda clase de tamaño de fincas y sistemas agro-ecológicos. Sin embargo, su adopción es más necesaria para los pequeños productores. Sobre todo aquellos que sufren una escasez aguda de mano de obra. La AC combina una producción agrícola rentable con una protección del ambiente, y la sostenibilidad; y se ha mostrado capaz de funcionar en un amplio rango de zonas agro-ecológicas y sistemas de producción. Ha sido percibida por profesionales como una herramienta válida para el manejo sostenible de la tierra (FAO, 2015).

De acuerdo a Delgado y Govaerts, la agricultura de conservación, pretende preparar el terreno para un desarrollo integral y sustentable del campo. La mayoría de los agricultores del mundo se enfrentan hoy en día a tres grandes retos: Los acontecimientos recientes a nivel mundial, que han ocasionado incrementos en los costos, sobre todo en combustibles, fertilizantes y otros insumos para la producción de cultivos agrícolas y la rápida degradación de la estructura del suelo, que afecta desfavorablemente su composición química, y que produce considerables reducciones del carbono orgánico del suelo y reduce la abundancia biológica. La escasez de agua, para producción tanto de riego como de temporal, es un factor limitante para los agricultores, ya que no les permite generar ni mantener grandes volúmenes de productos que satisfagan las demandas de alimentos para consumo de los habitantes de numerosos países en subdesarrollo y desarrollo.

Estos principios de la agricultura de conservación son aplicables a una amplia variedad de sistemas de producción de cultivos desde condiciones con baja productividad en temporal hasta condiciones con alta productividad en riego. Sin embargo, la aplicación de los principios de la agricultura de conservación será muy diferente de un sistema de producción a otro. Es necesario identificar los componentes del manejo tales como las tácticas de control de plagas y malezas, estrategias de manejo de nutrientes y rotación de cultivos, entre otros, por medio de investigación aplicada con la participación activa de los agricultores. Por ejemplo, en condiciones con riego por gravedad, un sistema de camas permanentes con riego por surcos (figura 1) puede ser más adecuado y sustentable que un sistema cero labranza o labranza reducida sobre plano para reemplazar el ampliamente usado sistema de labranza convencional con riego por inundación sobre terrenos planos (Verhulst *et al.*, 2015).

2.2.1 Ventajas de la agricultura de conservación

De acuerdo a FAO (2015), toda nueva tecnología debe presentar beneficios y ventajas que atraigan a un grupo amplio de agricultores que comprendan las diferencias entre lo que están haciendo y lo que necesitan. En el caso de la Agricultura de Conservación estos beneficios pueden ser agrupados como:

- a) Beneficios económicos que mejoran la eficiencia de la producción.
 1. Ahorro de tiempo y, de ese modo, reducción en el requerimiento de mano de obra.
 2. Reducción de los costos.
 4. Mayor eficiencia en el sentido de mayor rendimiento para un ingreso menor.

El impacto positivo de la Agricultura de Conservación sobre la distribución de la mano de obra durante el ciclo de producción y, aún más importante, la reducción en los requerimientos de mano de obra es la principal razón para la adopción de la Agricultura de Conservación por los agricultores, especialmente para aquellos agricultores que dependen completamente de la mano de obra familiar (FAO, 2015).

b) Beneficios agronómicos que mejoran la productividad del suelo.

1. El incremento de la materia orgánica.
2. La conservación del agua en el suelo.
3. El mejoramiento de la estructura del suelo y consecuentemente de la zona radical.

La adición constante de residuos de cultivos lleva a un incremento de la materia orgánica contenida en el suelo. Al inicio, esto es limitado a la capa superior del suelo, pero al pasar el tiempo se extenderá hasta capas más profundas. La materia orgánica tiene una función importante en el suelo: la eficiencia en el uso de los fertilizantes, la capacidad de retención del agua, la agregación del suelo, la labranza biológica, mejor entorno de las raíces y retención de nutrientes (FAO, 2015).

C) Beneficios medio ambientales y sociales que protegen al suelo y hacen que la agricultura sea más sostenible.

1. Reducción de la erosión del suelo, y de esa manera de los costos de mantenimiento de los caminos y de las plantas hidroeléctricas.
2. Mejoramiento de la calidad del agua.
3. Mejoramiento de la calidad del aire.
4. Incremento de la biodiversidad.
4. Secuestro de carbono.

Los residuos sobre la superficie del suelo reducen el efecto del salpicado de las gotas de lluvia; una vez que la energía de las gotas de agua ha desaparecido, el agua de las gotas de lluvia prosigue hacia el suelo sin producir ningún efecto perjudicial. Esto resulta en una más alta infiltración y en una menor escorrentía y, consecuentemente, en una menor erosión. Los residuos también forman una barrera física que reduce la velocidad del agua y del viento sobre la superficie del suelo, la última de las cuales reduce la evaporación.

2.2.2 Limitaciones de la agricultura de conservación

Wall (2007), señala que la AC está dirigida fundamentalmente a analizar los beneficios de y los factores que influyen en su adopción, sin embargo; existen algunos efectos negativos a corto plazo, dentro de los cuales se reportan la incidencia de malezas y plagas, la inmovilización de nutrimentos del suelo, una baja germinación y ahogamiento en suelos con mal drenaje. A largo plazo, la acidez, compactación del suelo (dependiendo de la textura), toxicidad por aluminio y menor integración de materia orgánica al suelo.

Según Ramírez (2012), otros factores limitantes son el uso de los residuos de cosecha para forraje de los animales y la costumbre de libre pastoreo en áreas con épocas secas prolongadas. Las normas sociales en las comunidades rurales también pueden afectar la adopción, debido a que el sistema de AC es muy distinto a los conocimientos convencionales. La seguridad del derecho sobre la parcela es importante debido a que muchos de los beneficios de la AC son a mediano y largo plazo. Según Wall (2007) hay menos probabilidad de que los productores adopten la AC cuando no son propietarios de la parcela. Este mismo autor también detectó que hay una insuficiencia de conocimiento sobre los factores de adopción, por lo que o hay pocas o no existen variables que expliquen universalmente la adopción de AC.

2.3 USO DE RASTROJOS

Para Reyes, Camacho y Guevara (2012), estos son algunos beneficios de los rastrojos en la Agricultura de Conservación:

1. Protegen el suelo de la erosión hídrica y eólica.
2. Mejoran la infiltración de agua pluvial y de riego, manteniendo una buena estructura del suelo.
3. Mantienen el suelo húmedo al reducirse la evaporación.

4. Alimentan y protegen a los organismos del suelo. Los materiales en descomposición son una fuente de nutrición excelente para los organismos del suelo y proporcionan condiciones adecuadas para su desarrollo.
5. Al descomponerse aumentan el contenido de materia orgánica (MO) del suelo.
6. Con una suficiente capa de rastrojos, se limita el crecimiento de las malas hierbas.
7. Se convierten en reguladores de la temperatura del suelo al no permitir aumentos bruscos que afecten el desarrollo normal de las plantas.

Según Erenstein, Sayre, Wall, Hellin y Dixon (2012), existe a nivel mundial, un mayor interés por la AC debido a su potencial para conservar agua, reducir la erosión hídrica y eólica y aumentar el contenido de materia orgánica para mejorar fertilidad natural del suelo. La cobertura del suelo con residuos de cosecha es una práctica necesaria para lograr una AC exitosa, especialmente en regiones semiáridas y subhúmedas. Este principio de la cobertura del suelo, exacerba la disyuntiva entre el uso del rastrojo de maíz como alimento del ganado o cobertura, sobre todo, por el impacto de los rastrojos en la fertilidad y los procesos de erosión del suelo.

En sistemas tradicionales de cultivo, los manejos y prácticas agrícolas inadecuadas han conducido a la degradación y erosión del suelo, lo cual se ha convertido en el principal problema de la producción agrícola, agravado por la vulnerabilidad de los productores a los riesgos climáticos. Las alternativas tecnológicas propician un patrón de cambio en las prácticas culturales y un incremento de la productividad en sistemas maíz/sorgo, entre las que destacan, el mantenimiento de la cobertura del suelo, asociado con el uso de nuevas variedades y niveles moderados de fertilización (Calderón *et al.*, 1991). Como parte de la AC, es necesario resaltar los beneficios y algunas restricciones para el uso del rastrojo como protector y mejorador del suelo (Reyes *et al.*, 2012; Calderón, Sosa, Mendoza, Saín, y Barreto, 1991).

Aunque el valor de los residuos de cultivo es ampliamente reconocido, es poco entendida su importancia para el mejoramiento y protección del suelo. Esta comprensión es necesaria a la luz de la creciente degradación de los recursos naturales (Hellin, Erenstein, Beuchelt, Camacho y Flores, 2013).

La retención de niveles adecuados de residuos de cosecha en los terrenos agrícolas es una práctica necesaria para mejorar la calidad, productividad y salud del suelo (Hellin y Haigh, 2002). Los variados usos del rastrojo de maíz dentro de la unidad de producción (alimento animal, cobertura del suelo, combustible, construcción), o al exterior de la misma (por ejemplo, comercialización como alimento para el ganado, o materia prima para elaborar artesanías, entre otros), implican una organización de los sistemas productivos (Reyes *et al.*, 2012).

Hellin y Haigh (2002), han comprobado que la adición de residuos produce efectos benéficos sobre algunas propiedades del suelo, como es la capacidad de retención hídrica y el intercambio catiónico, y por consiguiente, se logra la disminución del riego en posteriores etapas de cultivo, así como; mantener la calidad y salud del suelo. Se considera que una cobertura del 30% del suelo puede reducir la erosión hídrica en un 80%.

Según Reyes *et al.* (2012), está ampliamente documentado que la asociación maíz-leguminosas, contribuye al mejor uso beneficios del rastrojo, y posee grandes ventajas en comparación con el monocultivo, debido a que contribuye a que ocurran interacciones positivas en el sistema de producción. Entre las ventajas de dichas asociaciones están la obtención de mayores rendimientos respecto al monocultivo; un mejor control de malezas, plagas y enfermedades; la mejor utilización de los recursos naturales (i.e. agua, nutrimentos, luz) y una reducción del riesgo productivo.

Para Ernst, Bentancur y Borges (2002), en la elaboración de compostas, el proceso de descomposición de los residuos de cosecha depende de factores del ambiente, como temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes, factores inherentes al rastrojo,

como la relación C/N, contenido de lignina y carbohidratos solubles; factores de manejo, como la cantidad de rastrojo, el tamaño de partícula y sitio donde ocurre descomposición, sea sobre el suelo o incorporado al terreno. En los rastrojos que se descomponen sobre el suelo, la calidad de los mismos está definida por la concentración de N y lignina, o relación C/N, lo que determina su tasa de descomposición.

Reyes *et al.* (2012), citando a Rule *et al.* (1991), los residuos de cosechas pueden aportar, tras un proceso adecuado de humificación, una cantidad importante de humus beneficioso para el suelo. Se destacan los valores medios de humus formado por restos de cereales, como los de trigo (300-600 kg ha⁻¹) y maíz (400-800 kg ha⁻¹); sin embargo, muchas veces los esquilmos son quemados, en lugar de ser utilizados como abono.

Los beneficios demostrados por el uso de rastrojos están limitados por algunas características propias del residuo. Por ejemplo, sus bajos contenidos de N y de otros elementos, en ocasiones exigen altas dosis de fertilizante para lograr relaciones C/N estables, que generen residuos abundantes y equilibrados, con ventajas en producción y conservación del suelo y sin afectaciones al rendimiento de maíz (Zea, Osorio y Bolaños, 1997).

2.4 LABOREO DE CONSERVACIÓN

El laboreo de conservación contempla el establecimiento de cubiertas vegetales y laboreo de conservación, dentro de una adecuada rotación de cultivos e incluso un manejo integrado de nutrientes (Lal, 2010).

Según el Proyecto SoCo (2009), el proceso de implantación de la agricultura de conservación se desarrolla en cuatro fases, cada una de las cuales dura dos o más años.

Primera fase: se elimina la arada de volteo sustituyéndola por técnicas de laboreo reducido o laboreo cero. Al menos una tercera parte de la superficie debe permanecer cubierta por restos de cosecha y se introducen cultivos de cobertura después de cosechado el cultivo principal. Se utilizan pulverizadoras, gradas de dientes o rotativas (siembra directa en caso de laboreo cero). Pueden bajar los rendimientos de los cultivos.

Segunda fase: se produce una mejora de las condiciones del suelo y de la fertilidad debido a la materia orgánica derivada de la degradación natural de los restos. Suele producirse un incremento de las malas hierbas y plagas, que deben controlarse, sea químicamente o por otros medios.

Tercera fase: puede introducirse una diversificación de los patrones de cultivo (rotación de cultivos). El sistema general se estabiliza progresivamente.

Cuarta fase: el sistema agronómico llega a un nivel de equilibrio y los rendimientos pueden superar a los de la agricultura convencional. Se necesitan menos sustancias químicas para el control de malas hierbas y plagas o para mejorar la fertilidad.

La agricultura de conservación abarca cualquier técnica que reduzca, cambie o elimine el laboreo y evite la quema de rastrojos para mantener suficientes residuos en la superficie a lo largo de todo el año. Como consecuencia, el suelo es protegido de la erosión, de la lluvia y de la escorrentía de las aguas. Los agregados del suelo, la materia orgánica y el nivel de fertilidad se incrementan, disminuye la contaminación de las aguas superficiales, se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera y aumenta la biodiversidad (González, 1999).

De acuerdo a González (1999), la agricultura de conservación proporciona un sistema de producción sostenible en el que no sólo se conservan, sino que se refuerzan los propios recursos naturales y se incrementa la variedad y el número de fauna, flora y

organismos y microorganismos del suelo sin sacrificar los rendimientos. Dentro de las prácticas de conservación se tienen:

1. Siembra directa / no laboreo: El suelo no recibe labor alguna desde la recolección del cultivo hasta la siembra del siguiente, excepto para la aplicación de fertilizantes y el control de las malas hierbas que se realiza mediante el uso de herbicidas de bajo impacto ambiental.
2. Laboreo mínimo: Consiste en labrar superficialmente solo días antes de la siembra mediante la utilización de cultivadores, gradas y chisel. En el laboreo sin inversión el suelo se labra después de la recolección para incorporar restos de cosecha, promover la germinación de plantas voluntarias y así proporcionar cobertura en el suelo hasta la siguiente siembra.

Puede ser necesario realizar uno o varios tratamientos con herbicidas de acción total para ayudar a controlar las malezas establecidas hasta el momento de la siembra, así como el rebrote del cultivo precedente producido después de las primeras.

3. Laboreo en franjas: El suelo no recibe labor alguna desde la recolección hasta la siembra del cultivo siguiente excepto la línea donde se va a realizar la siembra que, puede ararse antes o durante la siembra.
4. Laboreo en lomos: Se forman pequeños lomos con rejas o discos aporcadores que se mantienen limpios de malas hierbas con herbicidas de bajo impacto ambiental y/o cultivadores. El resto del suelo permanece inalterado y cubierto con los restos del cultivo anterior.
5. Cultivos cubierta: Con este sistema se pretende reducir la erosión y controlar las malas hierbas. Se trata de formar una cubierta vegetal con especies concretas o con

la vegetación espontánea entre las filas de árboles en cultivos perennes. Cuando sea necesario, esa cubierta vegetal se elimina mediante aplicaciones químicas.

2.5 AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN DEL SUELO

La agricultura de conservación mejora la calidad física y estructura del suelo reduciendo el uso de fertilizantes químicos y las intervenciones de recuperación del suelo, así como; la capacidad de infiltración del agua, reduciendo los riesgos de escorrentía y la erosión del suelo (Álvarez y Steinbach, 2009). De acuerdo a Alfonso (2006), la agricultura de conservación promueve a largo plazo la fertilidad y la productividad de los suelos y esto requiere una comprensión básica de la interrelación planta - estructura - textura - biota del suelo - materia orgánica.

Según Álvarez y Steinbach (2009), los cultivos necesitan los mismos nutrientes en los sistemas de la agricultura de conservación, que en los sistemas de labranza convencional. La diferencia radica en el tipo y momento de aplicación de los fertilizantes, así como la reducción de las actividades de preparación de tierras que pueden accionar sobre los nutrientes en la forma siguiente:

1. Nutrientes inmóviles pueden acumularse en las capas superficiales.
2. La mineralización del nitrógeno es reducida en la agricultura de conservación.
3. Durante la descomposición de los residuos de los cultivos, el nitrógeno puede convertirse en inmovilizado.
4. La aplicación superficial de fertilizantes de amonio pueden acidificar la superficie del suelo.

Para Benites y Bot (2014), cuando los sistemas y técnicas de conservación son usados en la agricultura, la aplicación de fertilizantes no diferirá de la práctica de cómo es aplicado en los sistemas convencionales. Sin embargo, cuando se aplica la siembra directa en la agricultura de conservación, las estrategias deben ser desarrolladas para superar los factores antes mencionados.

Todos los nutrientes muestran cierta movilidad en el suelo, el fósforo y el potasio son inmóviles. El nitrógeno es móvil, permanece en la solución del suelo y puede ser lavado hacia fuera de la zona de raíces cuando no hay raíces para tomarlo. Con el objetivo de que las raíces tomen los nutrientes aportados como fertilizantes, estos necesitan ser disueltos en la solución húmeda del suelo y estar cerca de las raíces. Como el fósforo y el potasio son altamente inmóviles, necesitan ser colocados cerca de las raíces, por lo que es recomendada la aplicación en bandas (Benites y Bot, 2014).

La lenta mineralización de la materia orgánica en la agricultura de conservación, permite la liberación del fósforo y el potasio en la capa superficial del suelo. Igualmente, una acumulación de estos nutrientes, se asimila por los cultivos que desarrollan raíces superficiales que absorben estos nutrientes y lo movilizan dentro del perfil. El nitrógeno, por ser móvil, no necesita una forma de aplicación precisa. Sin embargo, cuando no hay lluvias o la superficie del suelo no está húmeda, el nitrógeno no se moverá dentro del perfil, y puede ser perdido a través de la volatilización. Por lo tanto, es recomendado aplicar al menos parte del fertilizante nitrogenado en bandas (Díaz, 2008).

Para Díaz (2008), las prácticas siguientes pueden evitar la acumulación de nutrientes en la capa superior del suelo:

1. Correctos niveles de nutrientes del suelo antes de implementar el nuevo sistema.
2. Aplicar parte del fertilizante en bandas colocadas cerca de las semillas.
3. Diseminar fertilizante a fin de obtener niveles adecuados de fósforo y potasio en la zona de las raíces.
4. Evaluar los niveles de nutrientes a diferentes niveles de profundidad del suelo: 10, 20 y 30 cm y repetir este ejercicio cada 3 a 4 años.
5. Controlar los niveles de nutrientes durante periodos de 3 años mediante los análisis de suelo.
6. Mantener la superficie cubierta homogéneamente con residuos, de tal forma que la humedad sea uniformemente distribuida y el crecimiento de las raíces superficiales sea estimulado con el fin de absorber y movilizar los nutrientes en la capa superior.

Para Amado, Fernández y Mielniczuk (1998), existen tres factores que pueden impedir la disponibilidad del nitrógeno en el suelo para las plantas y son los siguientes:

1. **La inmovilización**, es causada por microorganismos reciben rápidamente las formas del nitrógeno, como nitratos (NO_3) y amonio (NH_4) para descomponer los residuos del cultivo y otras materias orgánicas. Durante el tiempo en que los microorganismos usan el nitrógeno, este no está disponible para su absorción por las plantas, hasta que la materia orgánica es descompuesta, los microorganismos mueren y el nitrógeno es liberado nuevamente.
2. **La mineralización**, es el proceso en el cual el nitrógeno orgánico de los aminoácidos o proteínas es transformado en amonio (NH_4^+) y más tarde en nitrato (NO_3^-) por los microorganismos: Aunque las plantas pueden utilizar ambas formas de nitrógeno fácilmente, usualmente el amonio es transformado en nitrato rápidamente que puede ser absorbido por las plantas o ser lavado hacia fuera del perfil del suelo, y no utilizado para el crecimiento de la planta.

Durante los primeros años de la agricultura de conservación, el nitrógeno es principalmente encontrado en forma orgánica (inmovilizado) y por lo tanto no disponible para el crecimiento de las plantas. Debido al hecho de que el proceso de mineralización es lento en los primeros años, el nitrógeno para el crecimiento de la planta tiene que ser aplicado en forma adicional, como fertilizante.

3. **La volatilización**, en el caso de la diseminación de urea durante los periodos muy húmedos o en suelos muy húmedos, la urea es convertida rápidamente por frecuente enzima natural (ureasa) en amoniaco. Una parte del amoniaco es transformado en amonio y permanece en la solución del suelo, mientras que la otra parte desaparece directamente dentro de la atmósfera (volatilización) y no es utilizado para el crecimiento de la planta.

Con el fin de evitar la ausencia de nitrógeno para el crecimiento de las plantas como un resultado de la lenta mineralización, los procesos de volatilización e inmovilización, el nitrógeno requiere ser bien manejado, dando un tiempo a la materia orgánica para ser descompuesta antes de la siembra y aplicar entre 25 a 72 kg N por hectárea, con el objetivo de prevenir los efectos de la inmovilización. Durante la siembra, aplicar nitrógeno colocado en bandas para prevenir la inmovilización y usar fertilizantes de nitratos en lugar de fertilizantes de amonio, debido a que el nitrato se disuelve más fácil y, por lo tanto, es más móvil en el suelo (Amado *et al.*, 1998).

Según Crovetto (1997), en el transcurso de los años, las raíces del cultivo de cobertura y el incremento de la micro y macrofauna del suelo, reciclarán eficientemente los nutrientes de las plantas, lo que llevará a una necesidad reducida de fertilizante para producir el mismo o mayor rendimiento. El impacto de los fertilizantes químicos, puede a veces ser enormemente aumentado, siendo aplicado en la cobertura o mantillo en lugar del suelo. En Costa Rica, los rendimientos de frijol comestible en el sistema de frijol tapado, un sistema tradicional de cobertura con paja, no se incrementaron tanto por encima de los tradicionales de 500 kg/ha cuando fue aplicado fósforo químico al suelo. Sin embargo, los rendimientos subieron de dos a tres veces cuando el P orgánico fue aplicado directamente a la cobertura.

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados, tiene un efecto sobre la acidez o pH del suelo. Generalmente, el pH de los cultivos se encuentra entre 6 a 7, debido a que estos valores permiten una disponibilidad máxima de nutrientes. Las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el pH, y como resultado, reducen el efecto de ciertos herbicidas. Especialmente los fertilizantes de amonio como la urea, y los fosfatos de amonio, como el MAP y el DAP, son rápidamente convertidos en nitratos a través de un proceso de nitrificación, liberando ácidos en el proceso y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (Benites y Bot, 2014).

Si un suelo es ácido ($\text{pH} < 6$) es necesario corregir el nivel de acidez antes de comenzar la agricultura de conservación. Usualmente la acidez es corregida usando

cal, la cual reacciona más intensamente cuando es incorporada al suelo. Durante la práctica de la agricultura de conservación no es posible incorporar la cal en el suelo y por lo tanto es diseminada encima de la superficie del suelo (Benites y Bot, 2014).

En tres a cinco años después de iniciada la agricultura de conservación, tanto el fósforo como el potasio se acumulan en la parte superior del suelo. El humus retiene cationes (nutrientes con una carga positiva, lo cual a su vez incrementa la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC). El elemento más importante es el calcio (Ca^{2+}), otros son el magnesio (Mg^{2+}), el potasio (K^+), el sodio (Na^+) y el amonio (NH_4^+). Este fenómeno permite el intercambio entre estos elementos y el hidrogeno (H^+) y otros cationes y a su vez previene que los nutrientes sean lavados desde el perfil del suelo durante las lluvias copiosas (Benites y Bot, 2014).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos agrícolas de Guatemala se cultivan principalmente con maíz y frijol; con frecuencia bajo labranza tradicional intensiva, y en suelos con pendientes sin protección contra la erosión, provocando disminución de la fertilidad y degradación del suelo, y por tanto afectando negativamente los rendimientos de los cultivos y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. A lo anterior, se deben sumarse las sequías prolongadas y el incremento de los insumos agrícolas, que provoca una inseguridad alimentaria en la población rural pobre.

De acuerdo a lo expuesto, se propone la Agricultura de Conservación (AC) como una alternativa sustentable para los productores, y para garantizar la seguridad alimentaria en el entorno del cambio climático. La AC se basa en tres principios: (i) mínimo movimiento del suelo; (ii) cobertura del suelo con residuos; y (iii) rotación de cultivos. Esta tecnología mejora los suelos aumentando el contenido de materia orgánica, la actividad biológica y su porosidad, lo que mejora la infiltración y la disponibilidad de agua para la planta. También disminuye la erosión y la evaporación de la humedad del suelo, contribuyendo de esta manera a rendimientos más altos y estables. Además, disminuye los costos y demanda de mano de obra para mover el suelo, de lo que se deriva un ahorro para productor.

La investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de práctica o técnicas de agricultura de conservación sobre la salud del suelo, sanidad del cultivo rendimiento del cultivo de maíz, en el Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, San Jerónimo, Baja Verapaz.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de práctica de agricultura de conservación sobre la calidad del suelo, sanidad del cultivo rendimiento del cultivo de maíz, en el Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, San Jerónimo, Baja Verapaz.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la calidad del suelo en el cultivo maíz ICTA B-7 con base a nueve técnicas de agricultura de conservación.

Evaluar la salud del cultivo de maíz ICTA B-7 con base a nueve técnicas de agricultura de conservación.

Determinar el rendimiento del cultivo de maíz ICTA B-7 con base a nueve técnicas de agricultura de conservación.

Identificar el tratamiento que presente mayor beneficio económico a través del análisis de rentabilidad.

V. HIPOTESIS

5.1 Hipótesis alterna

Al menos una de las prácticas de agricultura de conservación evaluadas ejerce una influencia significativa sobre el rendimiento del cultivo de maíz y la calidad del suelo

VI. METODOLOGIA

6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Centro de Investigación del Norte, del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola –ICTA-, que se localiza en el municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz, situado a 10 km de la cabecera departamental y 150 km de la ciudad de capital. Ubicado en la Coordenadas Geográficas 15° 03' 46" Latitud Norte y 90° 14' 21" Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, a una altura de 999 metros sobre el nivel del mar (Figura 2).

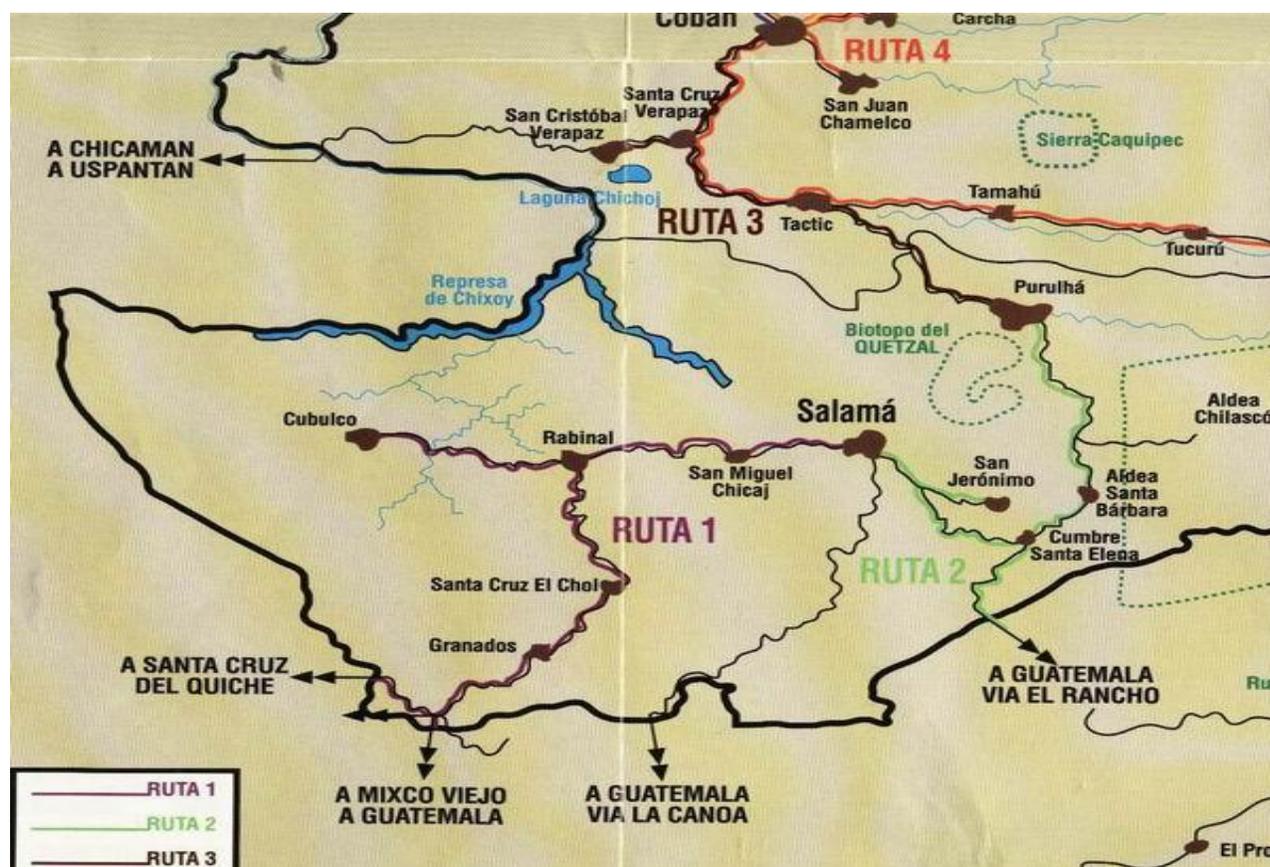


Figura 2. Ubicación de San Jerónimo, Baja Verapaz.

Según Holdridge (1982), el municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz, se encuentra en la zona de vida Bosque Seco Subtropical y se encuentra representado por los símbolos de bs-S. En esta zona de vida las condiciones climáticas se caracterizan por días claros y soleados durante los meses en que no llueve y parcialmente nublados durante la época de las lluvias y los meses de enero a marzo. Las principales lluvias se presentan de abril a junio y en otros durante los meses de septiembre a octubre. Las precipitaciones anuales oscilan en 980 mm.

La biotemperatura media anual para esta zona de vida está muy cerca de los 22.5 °C y corresponde a una temperatura media anual de alrededor de 26 °C. En las zonas situadas a mayor elevación, la temperatura media anual puede disminuir hasta los 23 °C. La evapotranspiración potencial para esta zona de vida es de 60% (Holdridge, 1982).

Según Simmons, Tárano y Pinto (1959), la mayoría de suelos del municipio de Salamá son montañosos, las tierras son denominadas karsticas, por mucha presencia de peñascos y siguanes y, pertenece a las Tierras Calizas Altas del Norte, y en su mayoría las pendientes sobrepasan el 50 %, por lo cual el 50 % del territorio, es considerado de vocación forestal y el 20 % es propicio para cultivos hortícolas y el 30 % para cultivos agro-forestales. Los suelos son del tipo Sholanima, Chol, Marajuma y Chicaj.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

El material vegetal utilizado fueron plantas de maíz de la variedad ICTA B-7, adaptado a condiciones marginales que favorece a su amplia adaptación agroecológica, especialmente recomendada para las condiciones de la zona del Nor-Oriente y algunas regiones de la Costa Sur-Occidental de Guatemala que presenta este tipo de problemática. Es una variedad de maíz de polinización libre (VPL) de grano blanco, desarrollada por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) conjuntamente con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y El Programa Regional de Maíz (PRM).

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

Los factores evaluados consisten en: la forma de preparar suelo, la calza del cultivo, tipo de surcos, cama ancha, porcentaje de rastrojo.

6.4 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Código	Tratamiento
LCSn0	Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo
LCSn50	Labranza cero en surco normal permanente con 50% de rastrojo
LCSn100	Labranza cero en surco normal permanente con 100% de rastrojo
LCCa0	Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo
LCCa50	Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo
LCCa100	Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo
LMSn0	Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo
LMSn50	Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 50% de rastrojo
LMSn100	Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue de bloques completamente al azar, con nueve tratamientos y tres repeticiones.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observación en la unidad experimento

μ = Parámetro, efecto medio

τ_i = Parámetro, efecto del tratamiento i

β_j = Parámetro, efecto del bloque j

ϵ_{ij} = valor aleatorio, error experimental de la u.e. i,j

i = 1,2 ..9, tratamientos.

j = 1,2.. 3, repeticiones.

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental bruta consistió en 15 surcos, distanciados a 0.80 m y de 7.15 m de largo. Se sembraron dos semillas por postura a 0.4 m. El área de cada unidad experimental fue de 85.8 m², con una población de 540 plantas.

La parcela neta o parcela útil lo constituyeron los dos surcos centrales, de 4 m de largo y de 0.8 m entre surcos y 0.4 m entre plantas. El área de cada unidad experimental fue de 6.4 m² y una población de 40 plantas.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

En la figura 3, se presenta el croquis de campo del estudio.

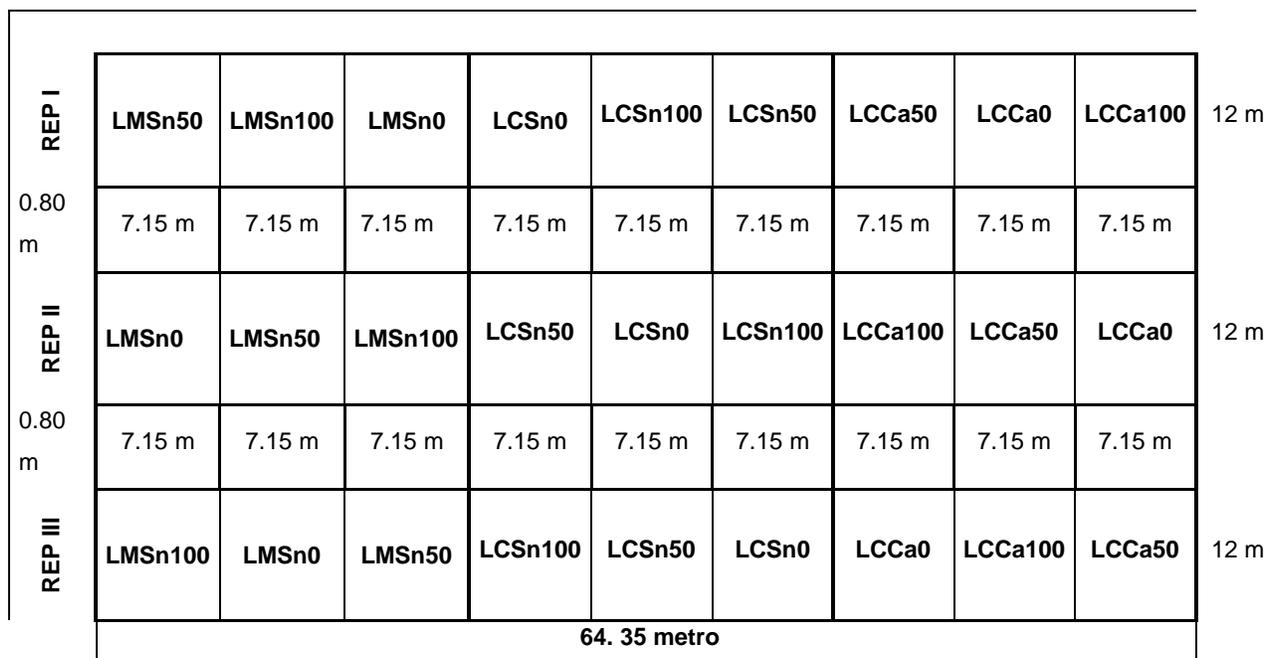


Figura 3. Croquis de campo

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

Preparación del terreno

Todo el lote experimental fue subsolado, laboreado, rastreado, cruzado y nivelado.

Siembra

El maíz ICTA B-7 se sembró 80 cm entre surcos y 40 cm entre postura, depositando dos granos por postura, a una profundidad de entre 4 a 5 cm.

Fertilización

Se realizaron dos fertilizaciones manualmente en todo el lote, según las recomendaciones del ICTA para la variedad empleada, la primera aplicación a los 10 días después de la siembra, aplicando 195 kg/ha de Triple 15 y la segunda previo a la floración (45 días después de la siembra) en dosis de 130 kg/ha de Urea al 46%. Para lo cual se enterró el fertilizante a un lado de la planta para que no pierda su efecto.

Control de malezas

Para el control de malezas se realizó una aspersion en pre siembra de Glifosato, en dosis de 3 L/ha y en post emergencia se aplicó Paraquat en dosis de 3 L/ha. Además se realizaron dos aplicaciones de Paraquat durante el ciclo del cultivo. Para el control de algunos focos dispersos de malezas se utilizó un control cultural

Control de plagas y enfermedades

Las semillas de maíz antes de la siembra fueron tratadas con el insecticida Blindage 60 FS, para el control de Gallina ciega *Philoophaga spp.*, Tortuguilla *Diabrotica spp.* y Chicharrita *Dalbulus spp.*, en dosis de 10 ml/kg de semilla.

Dobla

Se realizó para que la mazorca se seque más rápido y para que no se pudra, a la vez se evita el daño por pájaros. La dobla se realizó cuando el grano estaba completamente formado, entre los 85 a 90 días después de siembra.

6.10 VARIABLES RESPUESTA

6.10.1 Calidad del suelo

Los indicadores evaluados sobre la calidad del suelo fueron:

1. Estructura,
2. Compactación/infiltración,
3. Profundidad del suelo,
4. Estado de residuos,
5. Color/olor/M.O.,
6. Retención humedad,
7. Desarrollo raíces,
8. Cobertura,
9. Erosión y
10. Actividad biológica

6.10.2 Sanidad del cultivo

Los indicadores evaluados sobre la sanidad del cultivo fueron:

1. Apariencia,
2. Crecimiento,
3. Tolerancia stress,
4. Tolerancia enfermedades,
5. Competencia malezas,
6. Rendimiento,
7. Diversidad genética,
8. Diversidad vegetal,
9. Diversidad circundante y
10. Sistema manejo

Cada indicador se estimó en forma separada y se le asignó un valor de 1, 5 o 10 (siendo 1 el valor menos deseable, 5 un valor medio y 10 el valor deseado) de acuerdo con los atributos evaluados para cada indicador.

6.10.3 Componentes del rendimiento

- **Altura de la planta (cm)**

Se midió desde el nivel del suelo hasta la altura máxima de la planta, se realizó al comienzo de la madurez fisiológica, se tomaron en cuenta 20 plantas por tratamiento.

- **Días a floración (días después de la siembra)**

Se cuantificó los días transcurridos desde la siembra hasta cuando el 50% de las plantas mostraron emergencia de flores.

- **Peso de 100 granos de maíz (g/100 granos)**

Se tomaron, al azar muestras de 100 semillas por tratamiento y se obtuvo su peso en gramos, se realizó cuando la semilla tenía un 14% de humedad.

- **Rendimiento de maíz (kg/ha)**

Consistió en determinar el peso total de los granos de maíz de la parcela neta en cada uno de las repeticiones de los tratamientos evaluados, los cuales se transformaron en kg/ha. Para esta actividad se utilizó una balanza.

6.10.4 Rentabilidad

Para la estimación de la rentabilidad del cultivo de maíz se elaboraron registros económicos (costos de producción de maíz) para cada uno de los tratamientos evaluados. Determinado el ingreso bruto (venta de la producción de granos de maíz), al cual se le restó el costo de producción total y se obtuvo el ingreso neto. Para obtener la rentabilidad se dividió el ingreso neto entre costo de producción total y se multiplicó por 100.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Para el análisis de cada una de las variables respuesta del presente estudio se elaboró el análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza de 0.95, y para aquellos resultados que manifestaron diferencias estadísticamente significativas, se empleó la prueba de medias de Tukey (0.95 de confianza).

6.11.2 Análisis económico

Para el desarrollo del análisis económico de la producción de maíz, se utilizó la metodología de rentabilidad de la inversión. La fórmula para determinar la rentabilidad de la producción de maíz fue la siguiente:

$$\text{Rentabilidad} = (\text{Ingreso neto de maíz} / \text{Costo de producción de maíz}) \times 100$$

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 CALIDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAÍZ

En el cuadro 2 y figura 4 se presenta los valores asignados a cada indicador de la calidad del suelo en los nueve tratamientos evaluados. El tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal) presenta un promedio de 6.1 para la calidad del suelo, valor muy superior al presentado por el tratamiento LCSn0 (Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo), con un promedio de 3.5. En el estudio todos los tratamientos donde se utilizó 100% de rastrojo presentaron los mayores promedios, especialmente en los tratamientos con cero labranza (LCSn100, Labranza cero en surco normal permanente con 100% de rastrojo y LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo), con valores promedios de 5.4 y 6.0 respectivamente. La metodología además permite determinar que las parcelas experimentales de maíz requieren mejoras como uso de cobertura de suelo, incremento de la actividad biológica y condiciones edáficas para optimizar el desarrollo radicular de las plantas de maíz.

Cuadro 2. Valores de los indicadores de la calidad de suelo en el cultivo de maíz, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Indicador	Tratamientos								
	LCSn0	LCSn50	LCSn100	LCCa0	LCCa50	LCCa100	LMSn0	LMSn50	LMSn100
Estructura y textura	1	5	4	1	5	4	1	1	5
Compactación e infiltración	4	5	4	7	5	5	5	5	5
Profundidad del suelo	10	10	10	10	10	10	10	8	10
Estado de residuos	1	5	5	1	5	5	1	5	5
Color, olor y M. O.	1	5	5	1	5	5	1	5	5
Retención de humedad	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desarrollo de raíces	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Cobertura del suelo	1	1	5	1	5	10	1	5	10
Erosión	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Actividad biológica	1	5	5	1	5	5	1	5	5
Promedio total	3.5	5.2	5.4	3.8	5.6	6.0	3.6	5.0	6.1

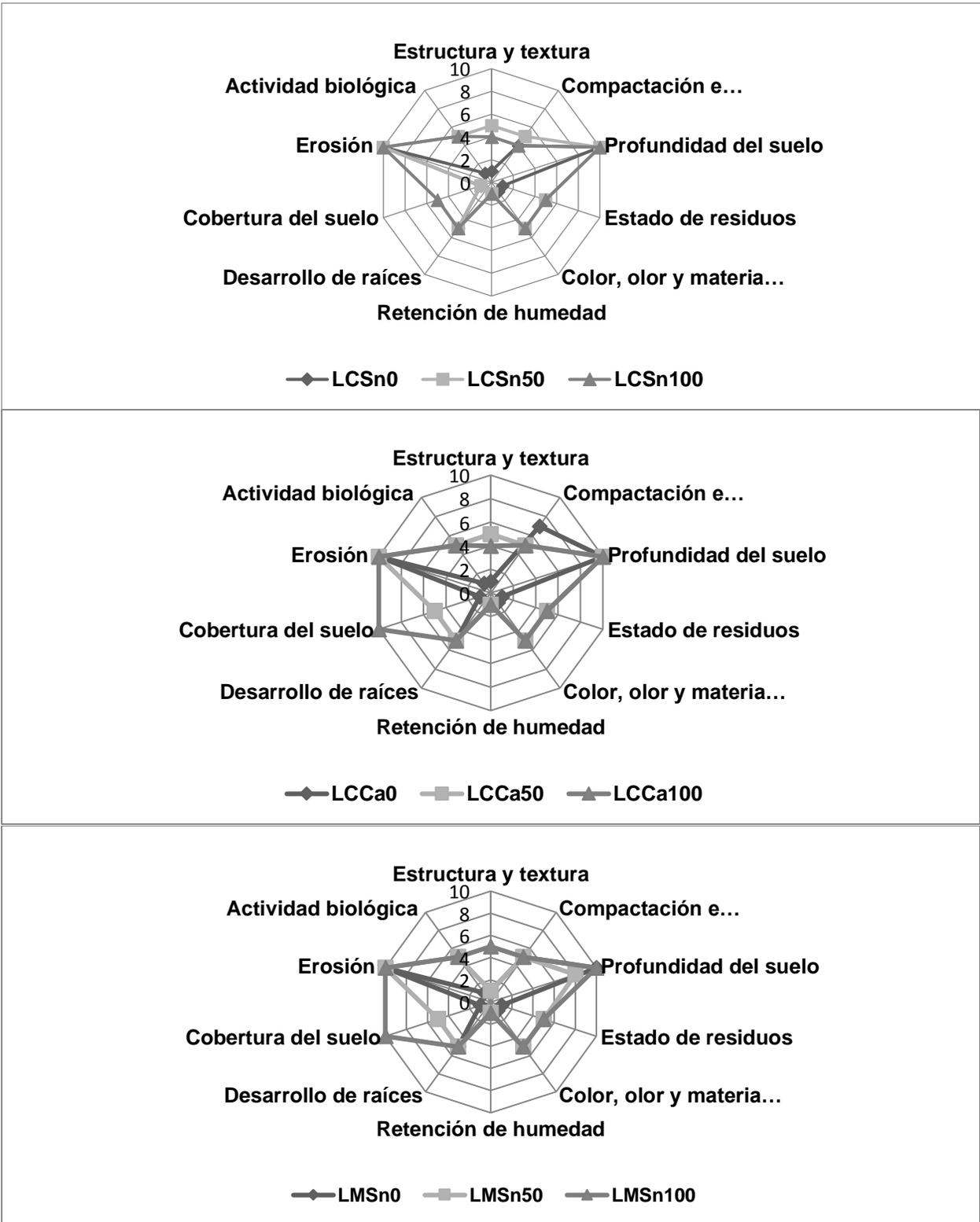


Figura 4. Representativa del estado de calidad de suelo de nueve tratamientos con prácticas de agricultura de conservación en el cultivo de maíz, San Jerónimo, B.V. 2016.

Las parcelas con valores de calidad del suelo promedio inferiores a 5 se encuentran por debajo del umbral de sostenibilidad y por lo tanto, requieren un manejo que permita mejorar los aspectos en que los indicadores tienen valores bajos. Estos son los tratamientos siguientes: LCSn0, Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo; LCCa0, Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo y LMSn0, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo. Por ejemplo, en estos tratamientos el indicador color, olor y materia orgánica, presento un valor bajo (1) y con la adición de materia orgánica, además de incrementar la capacidad de almacenamiento de agua, puede aumentar la actividad biológica del suelo, lo que a su vez puede mejorar la estructura del suelo (Cuadro 2; Figura 2).

7.2 INDICADORES DE LA SANIDAD DEL CULTIVO DE MAIZ

El cuadro 3 presenta los valores asignados a cada indicador de la sanidad del cultivo de maíz en cada uno de los nueve tratamientos evaluados. El promedio total de la suma de cada uno de los indicadores de cada tratamiento fue de 3.4 y todos los tratamientos evaluados se encontraron por debajo del umbral de sostenibilidad que es 5 y por lo tanto, requieren un manejo que permita mejorar los aspectos en que los indicadores tienen valores bajos. El tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal) presenta un promedio de 4.4 para la sanidad del cultivo, valor muy superior al presentado por el tratamiento LCSn0 (Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo), con un promedio de 2.6. La metodología además permite determinar que todos los tratamientos evaluados requieren mejoras en todos los indicadores.

El tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), presentó un cultivo vigoroso, que se sobrepone a la interferencia de malezas, con una estimación buena en el rendimiento con relación a la producción local. Además, el cultivo de maíz presentó un follaje verde claro, con algunas decoloraciones; denso, pero no uniforme; menos del 50% de las plantas presentan síntomas leves de enfermedades (Cuadro 3; Figura 5).

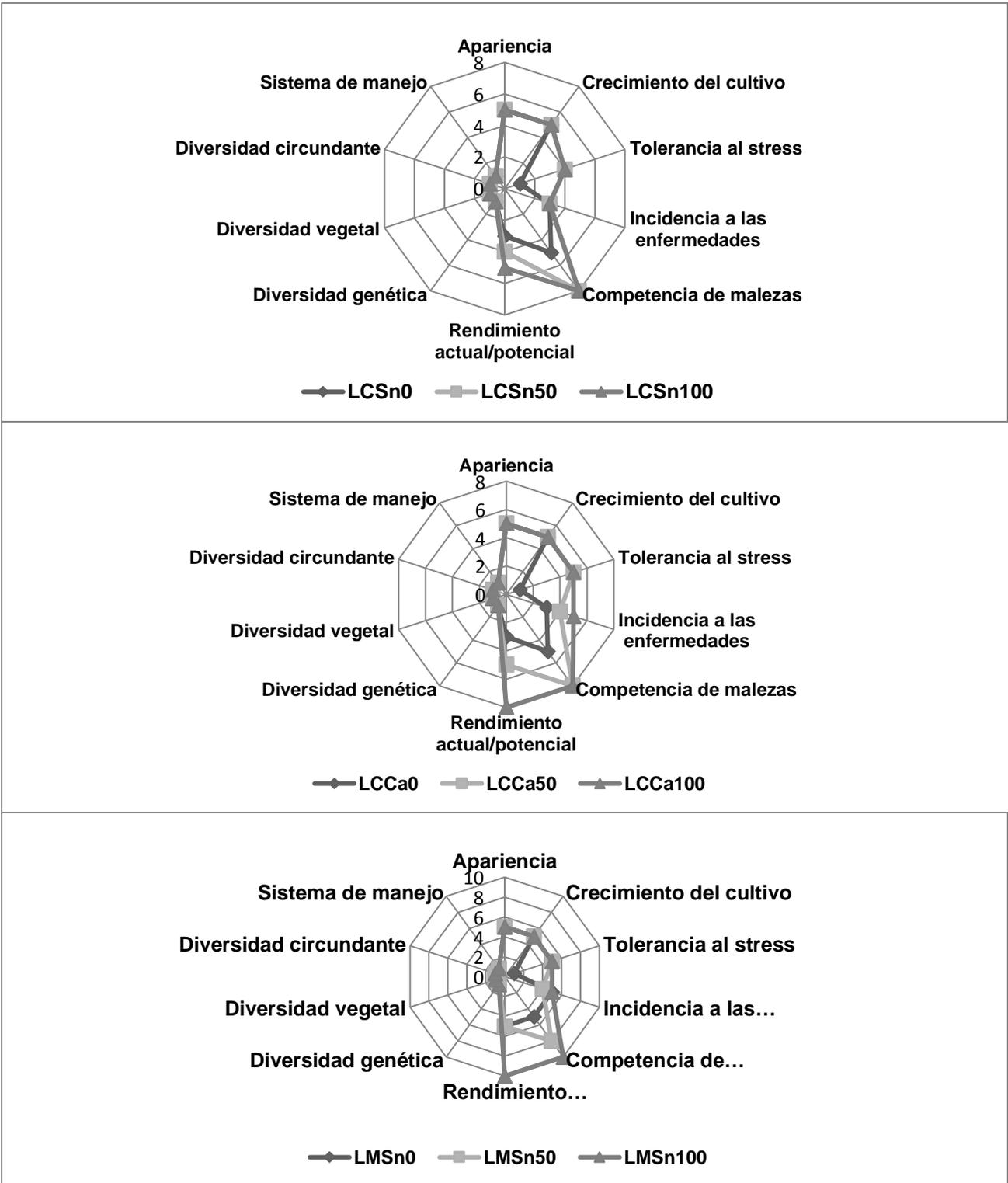


Figura 5. Representativa del estado de sanidad del cultivo de nueve tratamientos con prácticas de agricultura de conservación en el cultivo de maíz, San Jerónimo, B.V. 2016.

Cuadro 3. Valores de indicadores de la sanidad del cultivo de maíz, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Indicador	Tratamientos								
	LCSn 0	LCSn5 0	LCSn10 0	LCCa 0	LCCa5 0	LCCa10 0	LMSn 0	LMSn5 0	LMSn10 0
Apariencia	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Crecimiento del cultivo	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tolerancia al stress	1	4	4	1	5	5	1	5	5
Incidencia de enfermedades	3	3	3	3	4	5	5	4	5
Competencia de malezas	5	8	8	5	8	8	5	8	10
Rendimiento total/potencial	3	4	5	3	5	8	5	5	10
Diversidad genética	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diversidad vegetal	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diversidad circundante	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sistema de manejo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Promedio total	2.6	3.3	3.4	2.6	3.6	4.0	3.0	3.6	4.4

La salud del cultivo, los nueve tratamientos requieren intervenciones especialmente para incrementar la diversidad genética, diversidad vegetal, diversidad circundante y manejo del cultivo, a través de cultivar el cultivo de maíz en asocio (ej. maíz y frijol), rodeado de vegetación natural y aplicaciones de productos orgánicos y biológicos.

7.3 RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ ICTA B-7

7.3.1 Altura de planta de maíz ICTA B-7

De acuerdo a Tercero y Torres (2004), citando a Reyes (1990), destacan la importancia de la altura de la planta de maíz, debido a que a que determina la tolerancia al acame, resistencia a enfermedades y plagas y la facilidad del manejo del cultivo. Además es una variable que influye en el rendimiento.

En el Cuadro 4, se presentan el análisis de varianza para la variable altura de planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en el mismo se observa que existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados. Es decir; que al menos un tratamiento es diferente a los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variabilidad fue de 3.24%.

Cuadro 4. Análisis de varianza de la altura de planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Factor de valoración	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Fcalc	Ftab0.05	SIGNIFICANCIA
Tratamiento	8	1,372.74	171.59	3.98	2.59	Significativo
Bloque	2	137.19	68.59	1.59		
Error	16	690.15	43.13			
Total	26	2,200.07				
C.V. (%)	3.24					

En la figura 6, se presenta la prueba de significancia de la altura de plantas de maíz de la variedad ICTA B-7 de los tratamientos evaluados a través de la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$), donde define que los mejores tratamientos fueron donde se utilizó labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo (LMSn100), labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo (LCCa50) y labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo (LCCa0), con valores de 210.0, 209.0 y 209.0 respectivamente. Por lo tanto, la práctica de conservación de suelo conjuntamente con el porcentaje de rastrojo modificó significativamente la tasa de crecimiento y la altura de la planta.

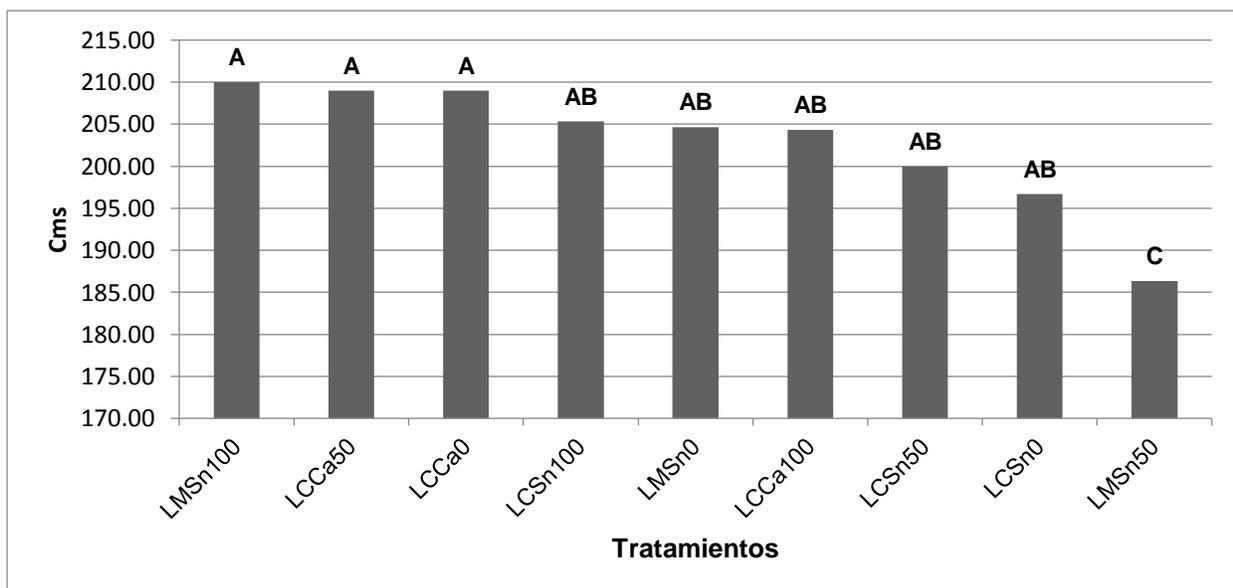


Figura 6, Análisis de medias de Tukey para la altura de planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.3.2 Días a floración de maíz ICTA B-7

En el Cuadro 5, se presentan el análisis de varianza para la variable días a floración de la planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en el mismo se observa que existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados. Es decir; que al menos un tratamiento es diferente a los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variabilidad fue de 2.49%.

Cuadro 5. Análisis de varianza a días a floración de la planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Factor de valoración	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Fcalc	Ftab0.05	SIGNIFICANCIA
Tratamiento	8	57.41	7.18	4.08	2.59	Significativo
Bloque	2	19.85	9.93	5.64		
Error	16	28.15	1.76			
Total	28	105.41				
C.V. (%)	2.49					

Los días a floración en el cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7 se estimaron cuando el 50% de las plantas, presentaron una flor. Los nueve tratamientos evaluados presentaron un rango de cinco días de floración (entre 50 a 55 días después de la siembra). El tratamiento más precoz (50 días después de la siembra) fue cuando se utilizó LMSn0 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo) y los tratamientos más tardíos fueron: LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), LCCa50 (Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo) y LCCa0 (Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo);, con valores de 55.00, 54.67 y 54.67 días después de la siembra respectivamente. Por lo tanto, la precocidad influye en la duración de las etapas por causar diferencias en el desarrollo de la planta, aún las pertenecientes a un mismo hábito de crecimiento (Figura 7).

En la figura 7, se presenta la prueba de significancia de días a floración de la plantas de maíz de la variedad ICTA B-7 de los tratamientos evaluados a través de la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$), donde define que el mejor tratamiento fue donde se utilizó

LMSn0 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo), con un valor promedio a floración de 50.33 días.

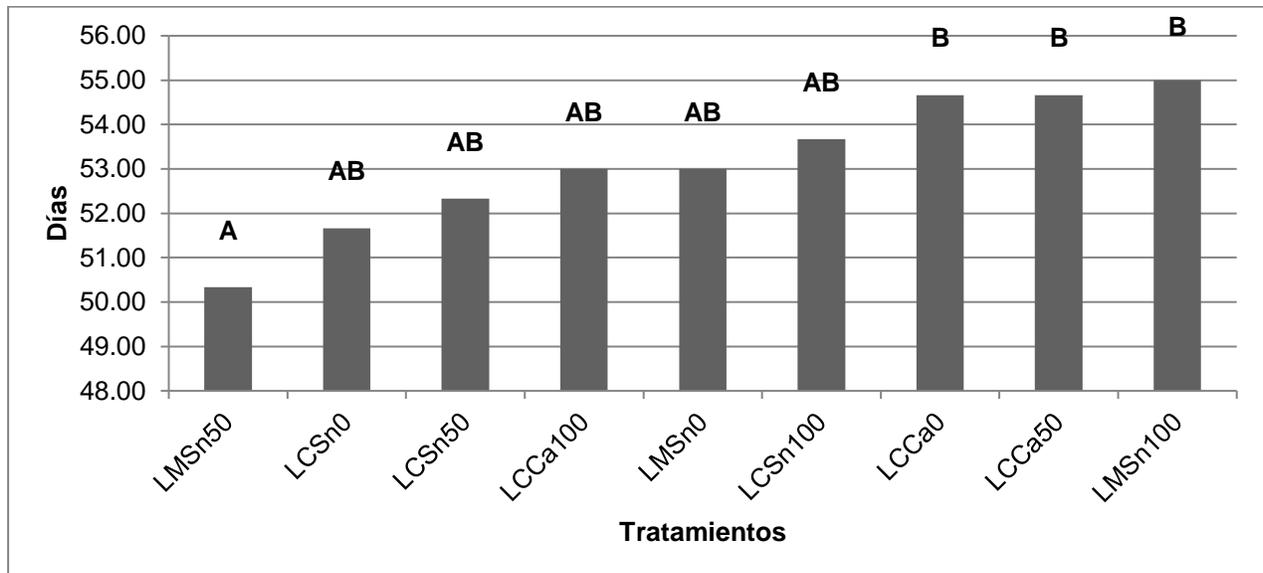


Figura 7, Análisis de medias de Tukey para días a floración de la planta de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.3.3 Peso de 100 granos de maíz ICTA B-7

El peso de 100 granos de maíz permite calcular la cantidad que se debe emplear en la siembra, además está relacionado al tamaño de los granos que frecuentemente determina el vigor y la pureza varietal. El análisis de varianza para esta variable, se puede observar que existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados. Es decir; que al menos un tratamiento es diferente a los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 6.08% (Cuadro 6).

En la figura 8, se muestra el análisis de medias de Tukey ($p < 0.05$) de los tratamientos evaluados con relación al peso de 100 granos de maíz de la variedad ICTA B-7, donde los resultados indican que el mejor tratamiento fue cuando se utilizó labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo (LMSn100), con un valor de 56 g/100 granos de semilla de maíz. Lo anterior se pudo deber a que en algunos casos el grano de maíz fue muy variable en su tamaño con posición, textura y forma.

Cuadro 6. Análisis de varianza de 100 granos de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Factor de valoración	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Fcalc	Ftab0.05	SIGNIFICANCIA
Tratamiento	8	440.52	55.06	6.18	2.59	Significativo
Bloque	2	222.74	111.37	12.50		
Error	16	142.59	8.91			
Total	26	805.85				
C.V. (%)	6.08					

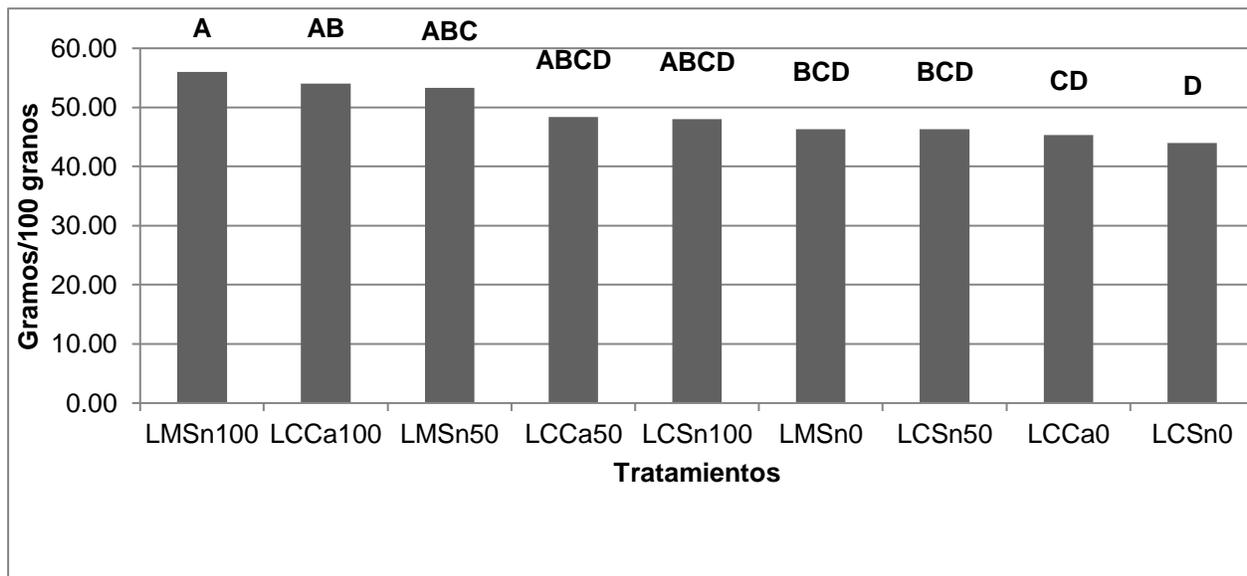


Figura 8, Análisis de medias de Tukey para el peso de 100 granos de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.3.4 Rendimiento de maíz ICTA B-7

El rendimiento de maíz está condicionado por su potencial genético, nutrición y factores ambientales (agua, luz, temperatura, etc.). De acuerdo al ICTA (2010), el rendimiento promedio de la variedad de maíz ICTA –B-7, es de 2,272.73 kg/ha. El análisis de varianza para esta variable, se puede observar que existen diferencias significativas al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados. Es decir; que al menos un tratamiento es diferente a los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 6.08% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Factor de valoración	Grados de Libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Fcalc	Ftab0.05	SIGNIFICANCIA
Tratamiento	8	1,426,435.89	178,304.49	6.06	2.59	Significativo
Bloque	2	663,610.66	331,805.33	11.28		
Error	16	470,712.73	29,419.55			
Total	26	2,560,759.28				
C.V. (%)	10.61					

De acuerdo al análisis de medias de Tukey ($P < 0.05$) para el rendimiento del grano de maíz de la variedad ICTA B-7, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Figura 9). El mayor rendimiento de maíz se alcanzó cuando se utilizó LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), con un valor de 4,019.67 kg/ha. Lo anterior, pudo ser producto de la mezcla de los residuos del cultivo anterior con el suelo, de esta forma se consiguió una descomposición de la mayor parte, en condiciones aeróbicas, obteniéndose una mejora en la estructura del suelo, a la vez que se reduce el consumo de energía y el tiempo de preparación.

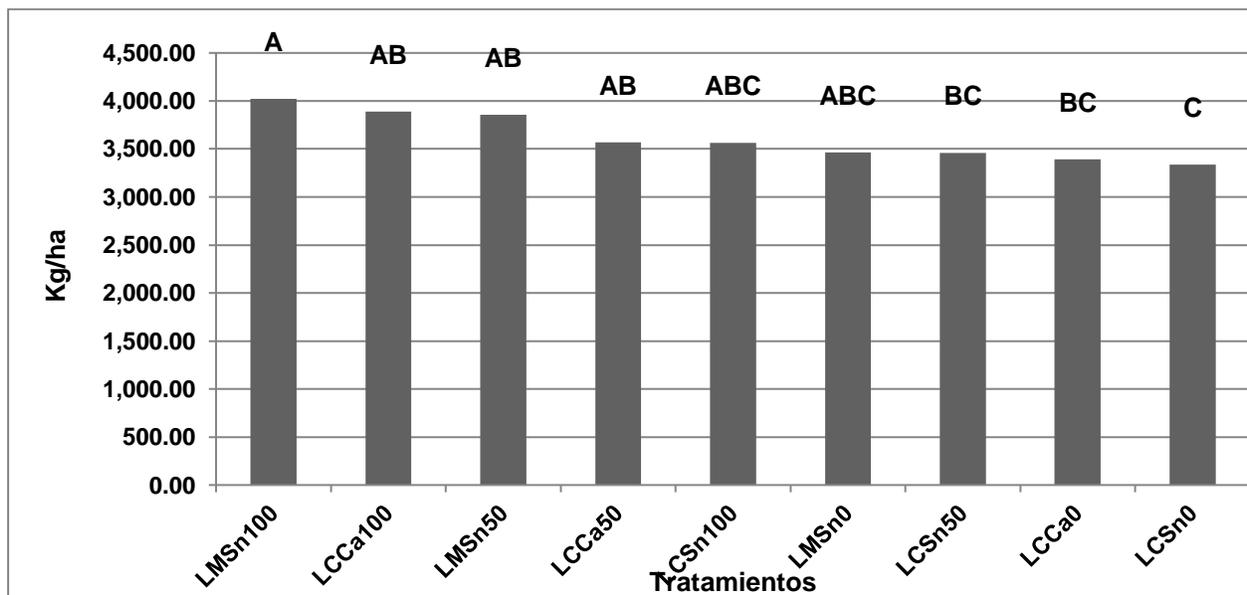


Figura 9, Análisis de medias de Tukey para el rendimiento de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.4 Interacciones de las variables evaluadas

7.4.1 Interacción entre rendimiento vs calidad del suelo

En las prácticas de agricultura de conservación la calidad del suelo es fundamental para determinar el rendimiento del cultivo, debido a que existen muchas prácticas de conservación que sea adaptable a un tipo de suelo específico. Si bien el suelo por sí mismo no afectaría la práctica de conservación, las interacciones del suelo con factores como el clima pueden también determinar la capacidad del sistema para ayudar al agricultor a tener éxito. Muchos factores influyen en la calidad del suelo y en el potencial de rendimiento, como: la estructura y textura; compactación e infiltración, contenido de materia orgánica, retención de materia orgánica, etc. Mientras algunos factores no pueden ser cambiados, muchos otros pueden ser corregidos mediante el manejo.

En la figura 10, se puede observar la interacción entre el rendimiento vs calidad del suelo en cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación y donde se puede observar que al aumentar la calidad del suelo se incrementó el rendimiento del cultivo, especialmente en el tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), donde se mejoró la disponibilidad del agua, la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes más que en los otros tratamientos donde el contenido de residuos del cultivo fueron menores del 100%.

El contenido de humedad del suelo se incrementó con el aumento de la cobertura superficial. Un mayor contenido de humedad del suelo permitió al cultivo crecer durante periodos cortos de sequía. Por lo tanto, labranza mínima con retención de residuos disminuyó la frecuencia e intensidad de las sequías cortas durante la temporada. Por lo tanto, la labranza y el manejo de residuos pueden afectar de manera significativa los rendimientos de los cultivos en áreas o temporadas con mala distribución de las lluvias. A largo plazo, este tratamiento con retención de residuos creará condiciones favorables

para el desarrollo de antagonistas y depredadores, y fomentará una nueva estabilidad ecológica.

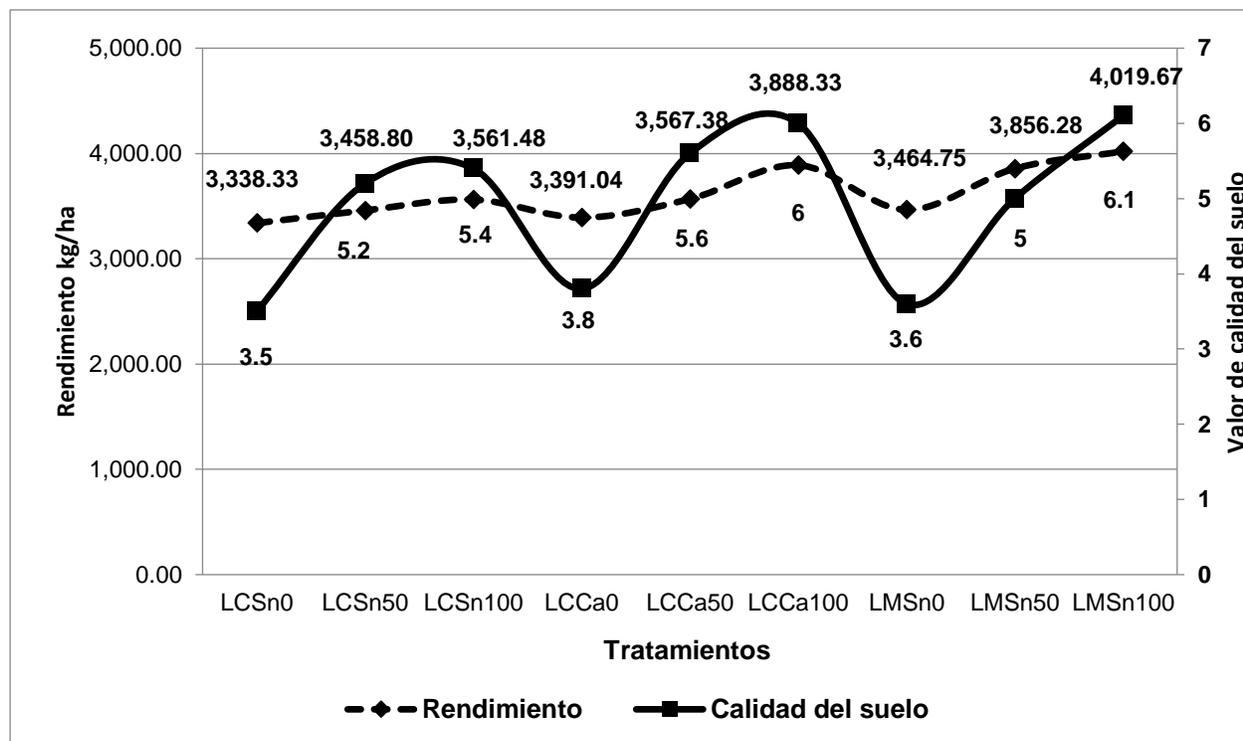


Figura 10. Interacción entre el rendimiento vs calidad del suelo en el maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.4.2 Interacción entre rendimiento vs sanidad del cultivo

En la figura 11, se puede observar la interacción entre el rendimiento vs sanidad del cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación y donde se puede observar que al aumentar la sanidad se incrementó el rendimiento del cultivo, especialmente en el tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), donde se obtuvo el mayor rendimiento y la mejor sanidad del cultivo.

El tratamiento de labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo presentó las características siguientes: un mayor vigor en el desarrollo del cultivo, baja o nula interferencia de malezas, follaje verde claro con algunas

decoloraciones y mediano nivel de incidencia y severidad de enfermedades. La reducción en la labranza afectó a diferentes especies de plagas especialmente en sus formas de supervivencia y ciclos de vida (Figura 11).

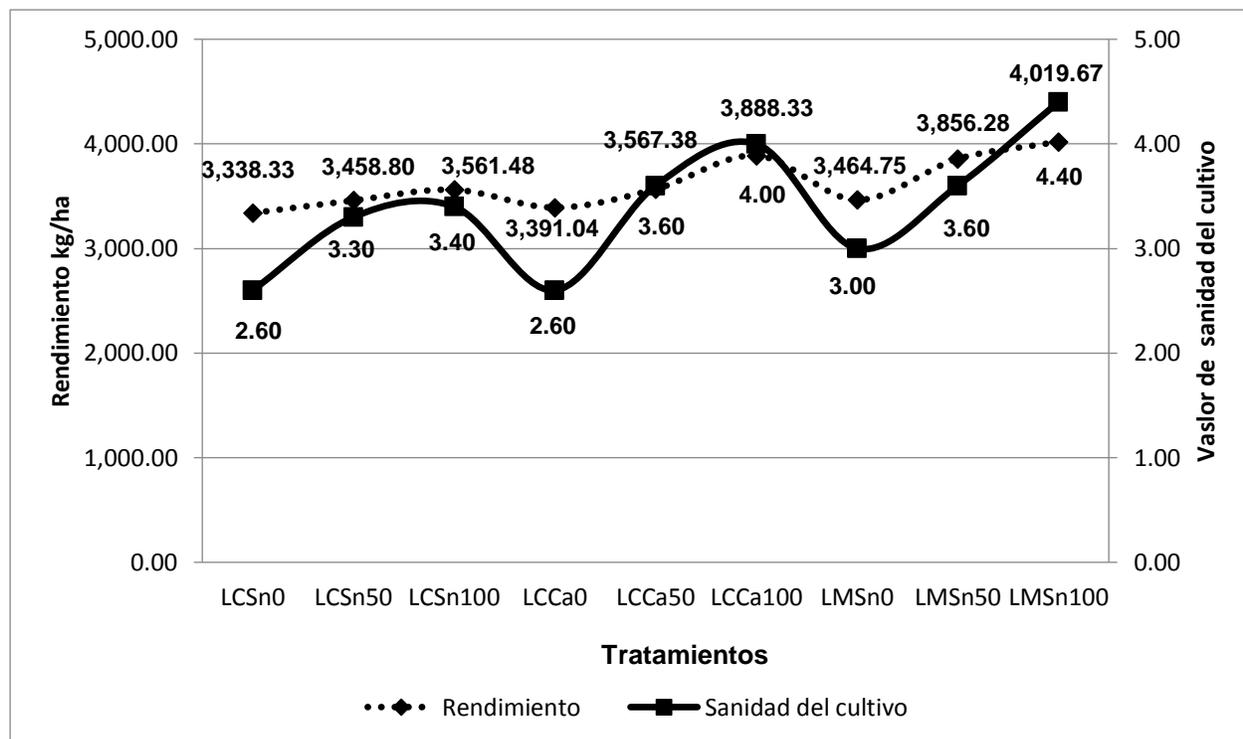


Figura 11. Interacción entre el rendimiento vs sanidad del cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.4.3 Interacción entre rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo

En la interacción entre rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo que se presenta en la figura 12, se puede observar que al incrementarse la calidad del suelo aumenta la sanidad del cultivo del cultivo de maíz, especialmente cuando la cobertura de rastrojo es de 100%. además, a mayor porcentaje de cobertura se incrementa el la calidad del suelo y aumenta el rendimiento.

La mejor interacción rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo se encontró en el tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), donde se obtuvo el mayor rendimiento, la mejor sanidad del cultivo y

calidad de suelo. Presentando un suelo superficial más profundo (más de 10 cm.), con más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta, sin signos de erosión., así como; se presentar un cultivo vigoroso, más denso pero no muy uniforme, de color verde claro con algunas decoloraciones, que se sobrepone al ataque de malezas y que resiste a las épocas de sequia; con lo cual logró alcanzar el mayor rendimiento de todos los tratamientos evaluados (Figura 12). De continuar el proceso de conservación en el mediano plazo los indicadores evaluados se incrementaran y llevaran a tener rendimientos superiores a los de la agricultura convencional.

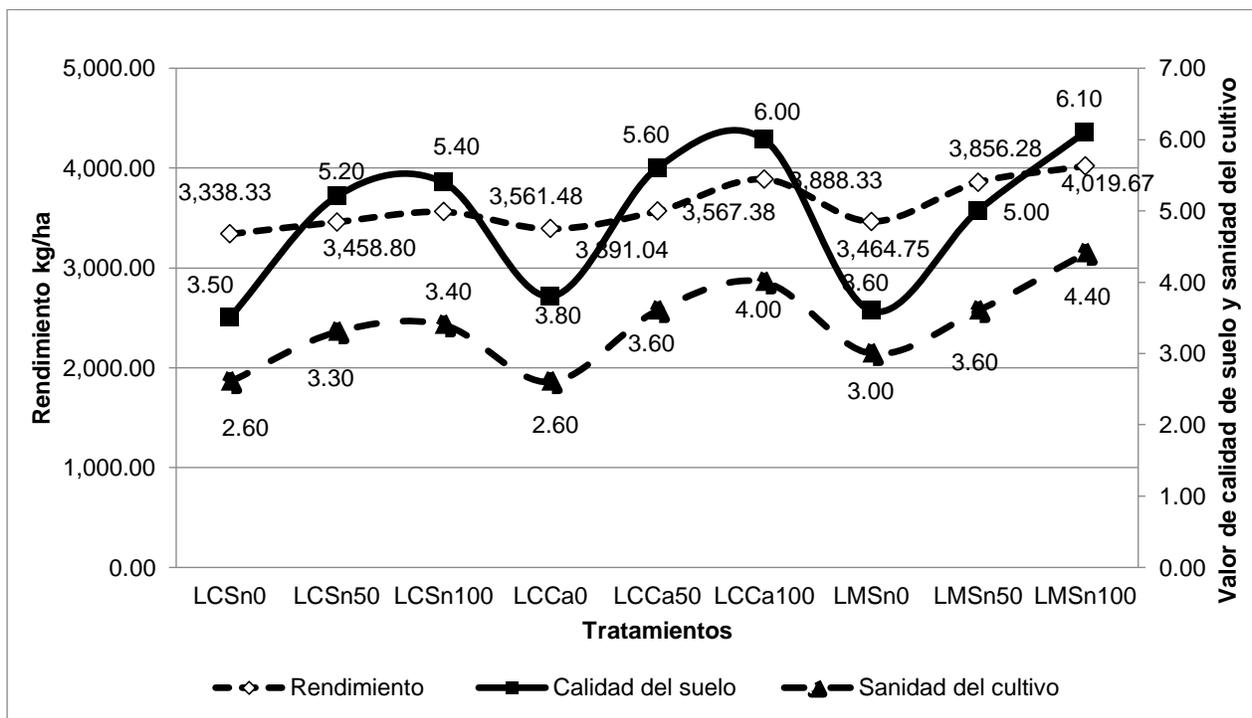


Figura 12. Interacción entre el rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7, en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ ICTA B-7

El tratamiento con el menor costo total fue el tratamiento LCSn0 (Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo), con un costo de Q. 5,889.15 y el tratamiento con mayor costo total se presentó en el tratamiento LMSn100 (Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo), con un costo de Q. 6,011.79. El tratamiento con mayor ingreso bruto fue cuando se utilizó LMSn100, con un valor de Q. 7,637.37 y el tratamiento con menor ingreso bruto fue cuando se utilizó LCSn0, con un valor de Q. 6,342.83. El tratamiento LMSn100 presentó el mayor ingreso neto y la mayor rentabilidad de los tratamientos evaluados, con un valor de Q. 1,625.58 y 27.04% respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Rentabilidad en la producción de maíz ICTA B-7 en nueve prácticas de agricultura de conservación, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V. 2016.

Tratamientos	Costo de producción (Q)	Ingreso bruto (Q.)	Ingreso neto (Q.)	Rentabilidad (%)
LCSn0	5,889.15	6,342.83	453.68	7.70
LCSn50	5,910.83	6,571.72	660.89	11.18
LCSn100	5,929.32	6,766.81	837.49	14.12
LCCa0	5,898.64	6,442.98	544.34	9.23
LCCa50	5,930.38	6,778.02	847.64	14.29
LCCa100	5,988.15	7,387.83	1,399.68	23.37
LMSn0	5,911.91	6,583.03	671.12	11.35
LMSn50	5,982.38	7,326.93	1,344.55	22.48
LMSn100	6,011.79	7,637.37	1,625.58	27.04

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo a la comparación de los indicadores de calidad del suelo y sanidad del cultivo, así como; al rendimiento de maíz de la variedad ICTA B-7 dentro de los nueve prácticas de agricultura de conservación evaluados, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, Baja Verapaz, el mejor tratamiento fue cuando se utilizó labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal (LMSN100).

En relación a las interacciones rendimiento vs calidad del suelo; rendimiento vs sanidad del cultivo y rendimiento vs calidad del suelo y sanidad del cultivo, los resultados mostraron que al aumentar la calidad del suelo se incrementaron los rendimientos de los tratamientos evaluados. De acuerdo a los resultados de las interacciones el mejor tratamiento fue LMSN100, que se caracterizó por presentar un suelo superficial más profundo, con más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta, sin signos de erosión., así como; ser un cultivo vigoroso, más denso pero no muy uniforme, de color verde claro con algunas decoloraciones, que se sobrepone al ataque de malezas y que se resiste a la sequía.

El tratamiento con mejor rentabilidad fue cuando se utilizó labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal (LMSN100), con un valor de 27.04%. Es decir; que por cada Q. 100.00 invertidos se obtuvo un beneficio neto o ganancia de Q. 27.04.

IX. RECOMENDACIONES

Debido al incremento de los rendimientos y los resultados de rentabilidad en el cultivo de maíz de la variedad ICTA B-7, se recomienda para la producción del cultivo en el municipio de San Jerónimo, del departamento de Baja Verapaz, parte del corredor seco el uso labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo vegetal (LMSN100).

Se recomienda revalidar los resultados del estudio en cultivo de maíz, en otras zonas del corredor seco de Guatemala; y por un periodo prolongado de al menos 5 años, por el carácter de la descomposición de la materia orgánica que es un proceso lento a largo plazo.

X. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo H., E. (2005). Fisiología del rendimiento maíz. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 47 p.

Alfonso, C. (2006). Curso de Agricultura Sostenible impartido en maestría de Suelos de La Universidad Veracruzana. Instituto de Suelos. Veracruz, México. 77 p.

Álvarez, R. y Steinbach, S. (2009). Una revisión de los efectos de los sistemas de labranza sobre un poco de tierra propiedades físicas, contenido de agua, la disponibilidad de nitrato y el rendimiento de los cultivos en la Argentina Pampas. Hasta el suelo. Res. 104:1-15.

Amado, T.; Fernández, S. y Mielniczuk, E. (1998). Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. Journal of soil and Water conservation 53(3): 268-271.

Benites, J. y Bot, A. (2014). Agricultura de conservación. Una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales. Agrobanco. Lima, Perú. 344 p.

Calderón, F.; Sosa, M.; Mendoza, V. M.; Saín, G. E. y Barreto, H. (1991). Adopción y difusión de labranza de conservación en Metalío-Guaymango, El Salvador: aspectos institucionales y reflexiones técnicas. Memorias del Taller Agricultura Sostenible en las Laderas Centroamericanas: Oportunidades de Colaboración Interinstitucional. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. pp. 189-210.

Carranco, J. (2010). Producción de soya, sorgo y maíz bajo agricultura de conservación. IICA. México, D.F. 54 p.

Crovetto, C. (1997). La cero labranza y la nutrición del suelo. In: Agricultura Sustentable de Alta Producción. 5o Congreso Nacional de AAPRESID, Mar del Plata, Argentina: p73-78.

Cruz, O. (2013). Manual del cultivo de maíz en Honduras. Programa Nacional de Maíz. Secretaría De Agricultura Y Ganadería, Dirección De Ciencia Y Tecnología Agropecuaria. Tegucigalpa, Honduras. 27 p.

Deras, H. (2012). Guía técnica del cultivo de maíz. Programa de Granos Básicos. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. El Salvador. 42 p.

Diaz, A. (2008). Buenas prácticas agrícolas. Guía para pequeños y medianos empresarios. IICA. Tegucigalpa, Honduras. 168 p.

Erenstein, O.; Sayre, K.; Wall, P.; Hellin, J., y Dixon, J. (2012). Conservation Agriculture in Maize- and Wheat-Based Systems in the Subtropics: Lessons from Adaptation Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Initiatives in South Asia, Mexico, and Southern Africa. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(2), 180-206.

Ernst, O.; Bentancur, O., y Borges, R. (2002). Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia*. 6(1), 20-26.

FAO (2015). Agricultura de conservación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 186 p.

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales –FENALCE- (2010). El Cultivo de maíz, historia e importancia. Programas de fomento del Ministerio de Agricultura y FENALCE. Bogotá, Colombia. 10 p.

González, M. (2009). Apuestas por una agricultura sostenible. Laboreo de conservación. Cuadernos Didácticos, Colección Agricultura y Medio Ambiente. Escuela Universitaria de Ingeniería, Técnica Agrícola de Valladolid. Valladolid, España. 54 p.

Hellin, J., Erenstein, O.; Beuchelt, T.; Camacho, C., y Flores, D. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*, 153, 12–21

Hellin, J. y Haigh, M. (2002). Better land husbandry in Honduras: towards the new paradigm in conserving soil, water and productivity. *Land Degrad. Dev.* 13, 233-250.

Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas -ICTA- (2010). Ficha técnica de la variedad de maíz ICTA B-7. Guatemala. 2 p.

Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo -OECD- (2003). Document on the Biology of *Zea mays* subsp. *mays* (Maize). Environment, Health and Safety Publications. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology. No. 27. Paris. Disponible en: <<http://www.oecd.org/ehs, 2003>>.

Proyecto SoCo (Agricultura sostenible y conservación de los suelos) (2009). Ficha informativa No. 5. Agricultura de Conservación. Comunidades europeas. 4 p.

Ramírez, A. (2012). Factores de adopción y abandono del sistema de agricultura de conservación en los valles altos de México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Veracruz, México. 20 p.

Reyes, L; Camacho, T. y Guevara, F. (2012). Rastrojos. Manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. 242 p.

Verhulst, N.; François, I.; y Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la

calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables?. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D.F. 24 p.

Wall, P. (2007). Tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries: An analysis of issues. *Journal of Crop Improvement*. Vol. 19, Núm. 1-2, 137–155.

Zea, J.; Osorio, M. y Bolaños, J. (1997). Uso del rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo del maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 8(2), 85-89.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de calidad del suelo

Indicador	Valor establecido	Característica
1. Estructura	1	Suelo polvoso, sin gránulos visibles.
	5	Suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave.
	10	Suelo friable y granular, agregados mantienen formas después de aplicar presión suave, aun humedecidos.
2. Compactación e infiltración	1	Compacto, se anega.
	5	Presencia de capa compacta delgada, agua infiltra lentamente.
	10	Suelo no compacto, agua infiltra fácilmente.
3. Profundidad del suelo	1	Subsuelo casi expuesto.
	5	Suelo superficial delgado (menos de 10 cm.).
	10	Suelo superficial más profundo (más de 10 cm.).
4. Estado de residuos	1	Residuo orgánico presente que no se descompone o muy lentamente.
	5	Aún persiste residuo del año pasado en vías de descomposición.
	10	Residuos en varios estados de descomposición, pero residuos viejos bien descompuestos.
5. Color, olor y materia orgánica	1	Suelo de color pálido, con olor malo o químico, y no se nota presencia de materia orgánica o humus.
	5	Suelo de color café claro o rojizo, sin mayor olor y con algo de materia orgánica o humus.
	10	Suelo de color negro o café oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus.
6. Retención de humedad	1	Suelo se seca rápido.
	5	Suelo permanece seco en época seca.
	10	Suelo mantiene algo de humedad en época seca.
7. Desarrollo de raíces	1	Raíces poco desarrollada, enferma y corta.
	5	Raíces de crecimiento algo limitado, se ven algunas raíces finas.
	10	Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas.
8. Cobertura del suelo	1	Suelo desnudo.
	5	Menos de 50% del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva.
	10	Más del 50% del suelo con cobertura viva o muerta.
9. Erosión	1	Erosión severa, se nota arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos.
	5	Erosión evidente pero baja.
	10	No hay mayores signos de erosión.
10. Actividad biológica	1	Sin signos de actividad biológica, no se ven lombrices o invertebrados (insectos, arañas, centípedos, etc.).
	5	Se ven algunas lombrices y artrópodos.
	10	Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos.

Anexo 2. Indicadores de sanidad del cultivo

Indicador	Valor establecido	Característica
1. Apariencia	1	Cultivo clorótico o descolorido con signos severos de deficiencia de nutrientes.
	5	Cultivo verde claro, con algunas decoloraciones.
	10	Follaje color verde intenso, sin signos de deficiencia.
2. Crecimiento del cultivo	1	Cultivo poco denso, de crecimiento pobre. Tallos y ramas cortas y quebradizas. Casi no hay crecimiento de follaje nuevo.
	5	Cultivo más denso pero no muy uniforme, con crecimiento nuevo y con ramas y tallos aun delgados.
	10	Cultivo denso, uniforme, buen crecimiento con ramas y tallos gruesos y firmes.
3. Resistencia o tolerancia al estrés (sequias, lluvias fuertes, plagas, etc.)	1	Susceptibles, no se recuperan bien después de un estrés.
	5	Sufren en época seca o muy lluviosa, se recuperan lentamente.
	10	Soportan sequía y lluvias intensas, recuperación rápida.
4. Incidencia de enfermedades	1	Susceptible a enfermedades, más del 50 % de plantas con síntomas.
	5	Entre 20 a 45% de plantas con síntomas de leves a severos.
	10	Resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves.
5. Competencia de malezas	1	Cultivos estresados dominados por malezas.
	5	Presencia media de malezas, cultivo sufre algo de competencia.
	10	Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas.
6. Rendimiento actual o potencial	1	Bajo con relación al promedio de la zona.
	5	Medio, aceptable.
	10	Bueno o alto.
7. Diversidad genética	1	Pobre, domina una sola variedad de cultivo.
	5	Media, dos variedades.
	10	Alta, más de dos variedades.
8. Diversidad vegetal	1	Monocultivo.
	5	Con solo una especie de sombra.
	10	Con más de 2 especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas dominantes.
9. Diversidad natural circundante	1	Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera.
	5	Rodeado al menos en un lado por vegetación natural.
	10	Rodeado al menos en un 50 % de sus bordes por vegetación natural.
10. Sistema de manejo	1	Monocultivo convencional, manejado con agroquímicos.
	5	En transición a orgánico, con sustitución de insumos.
	10	Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos.

Anexo 3.
Altura de la planta de maíz de la variedad ICTA B-7 (cm)

Tratamientos	I	II	III	Suma	Promedio
LCSn0	194	201	195	590.00	196.67
LCSn50	198	192	210	600.00	200.00
LCSn100	200	211	205	616.00	205.33
LCCa0	206	210	211	627.00	209.00
LCCa50	202	215	210	627.00	209.00
LCCa100	208	210	195	613.00	204.33
LMSn0	200	216	198	614.00	204.67
LMSn50	190	184	185	559.00	186.33
LMSn100	214	215	201	630.00	210.00
Total	1,812.00	1,854.00	1,810.00	5,476.00	202.81

Cuadro 3.1 Análisis de medias de Tukey para la altura de planta (cm) de maíz de la variedad ICTA B-7, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V., 2016.

Tratamientos	Promedio Cm/planta	Significancia Tukey al 0.05 = 19.0720
LMSn100, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo	210.00	A
LCCa50, Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo	209.00	A
LCCa0, Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo	209.00	A
LCSn100, Labranza cero en surco normal permanente con 100% de rastrojo	205.33	AB
LMSn0, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo	204.67	AB
LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo	204.33	AB
LCSn50, Labranza cero en surco normal permanente con 50% de rastrojo	200.00	AB
LCSn0, Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo	196.67	AB
LMSn50, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 50% de rastrojo	186.33	B

Anexo 4.
Días a floración de la planta de maíz de la variedad ICTA B-7

Tratamientos	I	II	III	Suma	Promedio
LCSn0	51	52	52	155.00	51.67
LCSn50	52	55	50	157.00	52.33
LCSn100	52	55	54	161.00	53.67
LCCa0	54	55	55	164.00	54.67
LCCa50	53	56	55	164.00	54.67
LCCa100	55	53	51	159.00	53.00
LMSn0	52	55	52	159.00	53.00
LMSn50	50	52	49	151.00	50.33
LMSn100	56	56	53	165.00	55.00
Total	475.00	489.00	471.00	1,435.00	53.15

Cuadro 4.1 Análisis de medias de Tukey para días a floración de maíz de la variedad ICTA B-7, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V., 2016.

Tratamientos	Promedio Días a floración	Significancia Tukey al 0.05 = 3.8527
LMSn50, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 50% de rastrojo	50.33	A
LCSn0, Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo	51.67	AB
LCSn50, Labranza cero en surco normal permanente con 50% de rastrojo	52.33	AB
LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo	53.00	AB
LMSn0, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo	53.00	AB
LCSn100, Labranza cero en surco normal permanente con 100% de rastrojo	53.67	AB
LCCa0, Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo	54.67	B
LCCa50, Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo	54.67	B
LMSn100, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo	55.00	B

Anexo 5
Peso de 100 granos de maíz de la variedad ICTA B-7

Tratamientos	I	II	III	Suma	Promedio
LCSn0	42	39	51	132.00	44.00
LCSn50	42	46	51	139.00	46.33
LCSn100	45	42	57	144.00	48.00
LCCa0	41	46	49	136.00	45.33
LCCa50	44	46	55	145.00	48.33
LCCa100	52	55	55	162.00	54.00
LMSn0	47	45	47	139.00	46.33
LMSn50	52	53	55	160.00	53.33
LMSn100	55	55	58	168.00	56.00
Total	420.00	427.00	478.00	1,325.00	49.07

Cuadro 5.1 Análisis de medias de Tukey para peso de 100 granos de maíz de la variedad ICTA B-7, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V., 2016.

Tratamientos	Promedio Peso de 100 granos	Significancia Tukey al 0.05 = 8.6685
LMSn100, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo	56.00	A
LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo	54.00	AB
LMSn50, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 50% de rastrojo	53.33	ABC
LCCa50, Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo	48.33	ABCD
LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo	48.00	ABCD
LMSn0, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo	4.33	BCD
LCSn50, Labranza cero en surco normal permanente con 50% de rastrojo	46.33	BCD
LCCa0, Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo	45.33	CD
LCSn0, Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo	44.00	D

Anexo 6
Rendimiento de maíz de la variedad ICTA B-7 (kg/ha)

Tratamientos	I	II	III	Suma	Promedio
LCSn0	3,240.00	3,060.00	3,715.00	10,015.00	3,338.33
LCSn50	3,199.17	3,432.24	3,745.00	10,376.41	3,458.80
LCSn100	3,408.44	3,216.00	4,060.00	10,684.44	3,561.48
LCCa0	3,154.12	3,430.00	3,589.00	10,173.12	3,391.04
LCCa50	3,326.13	3,426.00	3,950.00	10,702.13	3,567.38
LCCa100	3,800.00	3,925.00	3,940.00	11,665.00	3,888.33
LMSn0	3,508.12	3,408.12	3,478.00	10,394.24	3,464.75
LMSn50	3,810.00	3,825.00	3,933.85	11,568.85	3,856.28
LMSn100	3,965.00	3,970.00	4,124.00	12,059.00	4,019.67
Total	31,410.98	31,692.36	34,534.85	97,638.19	3,616.23

Cuadro 6.1 Análisis de medias de Tukey para días rendimiento de maíz de la variedad ICTA B-7, en el Centro de Investigación del Norte, San Jerónimo, B.V., 2016.

Tratamientos	Rendimiento Promedio Kg/ha	Significancia Tukey al 0.05 = 498.1064
LMSn100, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo	4,019.67	A
LCCa100, Labranza cero en cama ancha permanente con 100% de rastrojo	3,888.33	AB
LMSn50, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 50% de rastrojo	3,856.28	AB
LCCa50, Labranza cero en cama ancha permanente con 50% de rastrojo	3,567.38	AB
LCSn100, Labranza cero en surco normal permanente con 100% de rastrojo	3,561.48	ABC
LMSn0, Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 0% de rastrojo	3,464.75	ABC
LCSn50, Labranza cero en surco normal permanente con 50% de rastrojo	3,458.80	BC
LCCa0, Labranza cero en cama ancha permanente con 0% de rastrojo	3,391.04	BC
LCSn0, Labranza cero en surco normal permanente con 0% de rastrojo	3,338.33	C

Anexo 7

Costo de producción de maíz de la variedad ICTA B-7 por hectárea

	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario (Q.)	Costo/ha (Q)
I. MANO DE OBRA				
PREPARACION DEL TERRENO				
Chapeo y quema	1	Global	300.00	300.00
Arado	1	Global	300.00	300.00
SIEMBRA				
Manual	2	Jornal	75.00	150.00
LIMPIAS				
1ra. Limpia	2	Jornal	75.00	150.00
2da. Limpia	2	Jornal	75.00	150.00
3ra. Limpia	2	Jornal	75.00	150.00
FERTILIZACIÓN				
1ra. Fertilización	2	Jornal	75.00	150.00
2da. Fertilización	1	Jornal	75.00	75.00
CONTROL DE PLAGAS				
1er control	1	Jornal	75.00	75.00
2do control	1	Jornal	75.00	75.00
DOBLA	2	Jornal	75.00	150.00
COSECHA				
Tapizque	50	Sacos	15.00	750.00
Desgrane	4,019.67	Kg	0.18	723.54
TOTAL DE MANO DE OBRA				3,198.54
II. INSUMOS				
SIEMBRA				
Semilla (ICTA B-7)	30	Libras	9.50	285.00
TRATAMIENTO DE SEMILLA				
Blindage 60 FS	0.3	Litro	400.00	120.00
FERTILIZACIÓN				
15-15-15	195	Kg	4.90	955.50
Urea (46% de N)	130	Kg	4.95	643.50
LIMPIAS				
Paraquat	6	Litro	55.00	330.00
Glifosato	1	Litro	38.00	38.00
CONTROL DE PLAGAS				
Rienda	0.5	Litro	195.00	97.50
Curvom	0.125	Litro	350.00	43.75
TOTAL DE INSUMOS				2,513.25
III. OTROS				
Arrendamiento de tierra	1	Ha	300.00	300.00

TOTAL DE OTROS				300.00
COSTO TOTAL				6,011.79
INGRESO BRUTO	4019.67	Kg	1.9	7,637.37
INGRESO NETO				1,625.58
RENTABILIDAD (%)				27.04

ANEXO 8

Foto 1. Plataforma experimental



Foto. 2 Labranza mínima con surco normal, con calza del cultivo y 100% de rastrojo LMSn100



Foto 3. Labranza cero cama ancha permanente 50 % de rastrojo LCCa50



Foto 4. Labranza cero surco normal permanente 50 % de rastrojo LCSn50



Foto 5. Identificación de tratamientos.

