



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ

MANUEL FÉLIX LÓPEZ

CARRERA DE AGRÍCOLA

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFICIENCIA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE LA
FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN MAÍZ BLANCO PARA CONSUMO
EN FRESCO BAJO CONDICIONES DE SECANO EN CALCETA –
MANABÍ**

AUTOR:

JULIO CESAR SOLIS VARGAS

TUTOR:

ING. JOSE J. MENDOZA VARGAS, MGS.

CALCETA, NOVIEMBRE DE 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Solís Vargas Julio César**, con cédula de ciudadanía 1315224780, declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **“EFICIENCIA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN MAÍZ BLANCO PARA CONSUMO EN FRESCO BAJO CONDICIONES DE SECANO EN CALCETA – MANABÍ”** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



SOLÍS VARGAS JULIO CESAR

CC: 1315224780

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Solís Vargas Julio Cesar con cédula de ciudadanía 1315224780, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del trabajo de integración curricular titulado: **“EFICIENCIA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN MAÍZ BLANCO PARA CONSUMO EN FRESCO BAJO CONDICIONES DE SECANO EN CALCETA – MANABÍ”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



SOLÍS VARGAS JULIO CESAR

CC: 1315224780

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo **Mendoza Vargas José Javier** certifico haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **“EFICIENCIA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN MAÍZ BLANCO PARA CONSUMO EN FRESCO BAJO CONDICIONES DE SECANO EN CALCETA – MANABÍ”**, que ha sido desarrollado por **Solís Vargas Julio César**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola , de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE integración CURRICULAR DE LA CARRERA DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



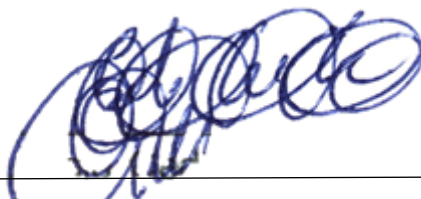
ING. JOSÉ JAVIER MENDOZA VARGAS

CC: 1306650043

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de integración curricular titulado: **“EFICIENCIA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN MAÍZ BLANCO PARA CONSUMO EN FRESCO BAJO CONDICIONES DE SECANO EN CALCETA – MANABÍ”**, que ha sido desarrollado por **Solís Vargas Julio César**, previo a la obtención de título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE integración CURRICULAR DE LA CARRERA DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Ing. Galo Cedeño García. M. Sc

CC: 1311956831


PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Sergio Zambrano Vélez. M.Sc

CC: 1310476773

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Cristian Valdivieso López. M.Sc

CC: 1717929283

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser el protagonista principal de nuestras vidas, por haberme dado la sabiduría y dedicación de seguir por el camino de la educación y llegar hasta esta meta, que es una de las más anheladas.

A mis padres Julio Solís y María Vargas, los que sin importar las circunstancias siempre me brindaron su apoyo y dándome sus sabios consejos que me ayudaron a tener perseverancia para lograr una de mis metas.

A mi esposa e hija que han sido fuente de inspiración para lograr este objetivo.

A mis hermanos que de una u otra manera aportaron con algo para que esta meta se cumpliera y saliera exitosa.

A mis cuñados que de la misma forma que mis hermanos colaboraron con algo para llegar hasta el final de este proceso educativo.

A la Escuela Superior Politécnica de Manabí por ser una universidad que cuenta con educación de calidad, siempre brindando apoyo a los estudiantes de una u otra manera.

Al Ing. Galo Cedeño por haberme brindado su ayuda y conocimientos para poder ejecutar este proyecto.

A mi tutor de tesis Ing. Javier Mendoza por brindar sus conocimientos para ejecutar un proyecto bien estructurado y ejecutado.

A mis amigos y docentes que se involucraron para culminar con este proyecto.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres la Sra. María Vargas y el Sr. Julio Solís a todas y cada una de las personas que ayudaron para que terminara con éxito la investigación; a mi esposa Angela Navarrete y a mi hija Julieth Solís por ser motor fundamental e inspiración de este trabajo.

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE FIGURAS Y TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. GENERAL.....	3
1.3.2. ESPECÍFICOS.....	3
1.3.3. HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ORIGEN DEL MAIZ (ZEA MAYS L.).....	4
2.2. TAXONOMÍA.....	4
2.3. DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA.....	4
2.4. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAIZ.....	5
2.5. FERTILIZANTES LIQUIDOS.....	5
2.6. MAÍZ BLANCO INIAP 543- QPM.....	6
2.6.1. ORIGEN GENÉTICO.....	6
2.6.2. DESARROLLO.....	6
2.6.3. ZONIFICACIÓN.....	7

2.6.4. EPOCA DE SIEMBRA.....	7
2.6.5. PRINCIPALES USOS.....	7
2.6.6. RENDIMIENTOS PROMEDIOS EN CHOCLOS Y GRANO SECO TM/HA-1 DE INIAP 543-QPM EN VARIAS LOCALIDADES DEL LITORAL ECUATORIANO DURANTE EL PERIODO LLUVIOSO Y SECO BAJO RIEGO.....	8
2.6.7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD INIAP 543- QPM.....	9
2.6.8. FERTILIZACIÓN.....	9
2.7. PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE MAIZ	10
2.8. DEMANDA INTERNACIONAL	10
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	11
3.1. UBICACIÓN	11
3.2. DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	12
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	12
3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL	12
3.5. TRATAMIENTOS	12
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	12
3.7. ESQUEMA DEL ADEVA	12
3.8. VARIABLES RESPUESTA	13
3.8.1. MORFO-AGRONÓMICAS	13
3.8.2. COMPONENTES DE RENDIMIENTO	13
3.8.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE BENEFICIO NETO	13
3.10. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	14
3.10.1. TRATAMIENTO DE SEMILLAS	14
3.10.2. CONTROL DE MALEZAS EN PRE-EMERGENCIA	14
3.10.3. CONTROL DE MALEZAS EN POST-EMERGENCIA.....	14
3.10.4. FERTILIZACIÓN.....	14
3.10.5. CONTROL FITOSANITARIO.....	15
3.11. ANÁLISIS DE DATOS.....	16

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1. COMPONENTES DE CRECIMIENTO.....	17
4.2. COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CRECIMIENTO DE MAZORCAS.....	18
4.3. EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO (EAN) Y BENEFICIO ECONÓMICO DE LA FERTILIZACIÓN LIQUIDA.	23
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍAS.....	27
ANEXOS.....	32

CONTENIDO DE FIGURAS Y TABLAS

GRÁFICOS

Gráfico 1: Rendimientos promedios en choclos y grano seco TM/ha-1 de INIAP 543-QPM en varias localidades del Litoral ecuatoriano durante el periodo lluvioso y seco bajo riego. 17	
Gráfico 2. Principales características de la variedad INIAP 543-QPM.....	18
Gráfico 3. N° de hojas a floración.....	28
Gráfico 4. Longitud de mazorca con brácteas.....	28
Gráfico 5. Diámetro de mazorca con brácteas.....	29
Gráfico 6. Peso de mazorca con brácteas.....	29
Gráfico 7. Peso fresco de planta.....	30
Gráfico 8. Peso fresco de raíz.....	30
Gráfico 9. Eficacia de fertilización granular vs fertilización líquida.....	31

TABLA

Tabla 1. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre el crecimiento del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano.	
Tabla 2. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre componentes de rendimiento del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano.	
Tabla 3. Beneficio económico total y neto de tres técnicas de fertilización en maíz INIAP 543 – QPM para consumo en fresco.	

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad agronómica y económica de la fertilización líquida en maíz blanco bajo condiciones de secano. El trabajo se desarrolló durante la temporada lluviosa del 2021, en la localidad de Figueroa, Calceta, Manabí. Se probaron tres técnicas de fertilización: granulada, líquida inyectada, y líquida en drench. También se estableció una parcela con omisión de nitrógeno, con fines de calcular la eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos, cinco repeticiones y 20 unidades experimentales. Las variables registradas fueron: número de mazorcas comerciales, EAN (kg de mazorca kg^{-1} de N aplicado) y beneficio económico neto – BEN (USD ha^{-1}). Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza y separación de medias con Tukey $\alpha < 0,05$. Los resultados indicaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para todas las variables evaluadas. La producción de mazorcas comerciales fue de 41600 para la fertilización inyectada, 41200 para la fertilización en drench y 35900 para la fertilización granulada convencional. La EAN fue de 35,99, 32,27 y 21,33 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, con fertilización líquida inyectada, en drench y granulada, respectivamente. Las fertilizaciones líquidas en drench e inyectada alcanzaron el mayor BEN de la fertilización, con un incremento de 302 y 276 USD ha^{-1} , con respecto a la fertilización granulada. La fertilización líquida se muestra como una tecnología eficiente de nutrición para maíz de secano, cuando las condiciones ambientales no proporcionan la humedad de suelo suficiente para la disolución de los fertilizantes.

Palabras clave: Zea mays, fertilización diluida, rendimiento, uso eficiente de nutrientes

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the agronomic and economic effectiveness of liquid fertilization in white maize under rainfed conditions. The work was carried out during the rainy season of 2021, in the town of Figueroa, Calceta, Manabí. Three fertilization techniques were tested: granulated, liquid injected, and liquid in drench. A plot with nitrogen omission was also established, in order to calculate the agronomic efficiency of nitrogen (EAN). A randomized complete block design with four treatments, five replications and 20 experimental units was used. The variables recorded were: number of commercial ears, EAN (kg of ear kg⁻¹ of N applied) and net economic benefit – BEN (USD ha⁻¹). The data was processed by analysis of variance and separation of means with Tukey $\alpha < 0.05$. The results indicated significant statistical differences ($p < 0.05$) for all the variables evaluated. The production of commercial ears was 41,600 for injected fertilization, 41,200 for drench fertilization and 35,900 for conventional granulated fertilization. The EAN was 35.99, 32.27 and 21.33 kg of ears kg⁻¹ of N applied, with injected liquid fertilization, in drench and granulated, respectively. The liquid fertilizations in drench and injected reached the highest BEN of the fertilization, with an increase of 302 and 276 USD ha⁻¹, with respect to the granulated fertilization. Liquid fertilization is shown as an efficient nutrition technology for rainfed maize, when environmental conditions do not provide sufficient soil moisture for the dissolution of fertilizers.

Keywords: Zea mays, diluted fertilization, yield, efficient use of nutrients.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El maíz (*Zea mays* L.) es el segundo cultivo más importante a nivel mundial, se pronostica que para el año 2020 superará al trigo y arroz, para posesionarse como el principal cultivo a escala mundial (Jones, 2009). En este sentido, es de vital importancia para el país en términos de seguridad alimentaria, generación de ingresos y empleo para miles de familias dependientes de este rubro agrícola (MAG, 2017). La producción de maíces blancos en estado de choclo es una alternativa social y económicamente rentable para pequeños agricultores de los valles irrigables del Litoral ecuatoriano (Alarcón et al., 2019). Sin embargo, la principal problemática del cultivo es la baja productividad en relación con otros países productores como Argentina, Brasil y EE.UU. (FAO, 2019).

En este sentido, según reportes oficiales en los últimos años se han venido presentado anomalías en las precipitaciones durante la época lluviosa, con periodos amplios de escasez de lluvia y afectaciones sobre la producción agrícola (MAG, 2020a). En Manabí, por lo general las precipitaciones han venido mostrando un comportamiento errático e irregular causando periodos cortos de sequía dentro de la época lluviosa, lo cual afecta la producción al no contarse con la instalación permanente de sistemas de riego, y más aún cuando la mayor área de siembra de maíz es en ladera (Jiménez et al., 2012; Thielen et al., 2016 Pérez et al., 2018).

En relación a lo anterior, al producirse periodos cortos de sequía dentro de la época lluviosa se afecta significativamente la fertilización y la nutrición del cultivo, debido a que la falta de humedad en el suelo no permite la solubilización eficiente de los fertilizantes aplicados en banda superficial, y más aún cuando las principales fuentes utilizadas son fosfato di amónico (DAP), muriato de potasio (MOP) y urea, los cuales no pueden solubilizarse y sufren pérdidas significativas por volatilización, lixiviación y escorrentía (IPNI, 2012; Navarro y Navarro, 2014; MAG, 2020b). Lo anteriormente descrito, limita el uso eficiente de los nutrientes, dada la importancia del agua como principal vehículo y solvente para las

transformaciones, transporte y asimilación de los nutrientes para las plantas (IPNI, 2012; Subhani et al., 2012; Shiferaw, 2017; Morris et al., 2018).

Sumado a lo anterior, es bien conocido que durante los periodos secos se incrementa la presión de insectos – plagas vectores de virus, y de patógenos, que, al encontrar una planta debilitada por una nutrición limitada por el estrés hídrico, se reduce el potencial productivo del cultivo (Grimmer et al., 2012; van Munster et al., 2017; van Munster, 2020). En sentido, se ha demostrado que una fertilización balanceada y eficiente es efectiva para fortalecer la respuesta de los cultivos ante el ataque severo de plagas y patógenos (Gupta et al., 2017; Magero et al., 2018; Cabot et al., 2019).

Actuales investigaciones han demostrado la efectividad de la fertilización líquida en agricultura de secano, tanto para incrementar el rendimiento del cultivo, así como el uso eficiente de nutrientes (Kasim et al., 2011; Walsh y Christiaens, 2016; Steusloff et al., 2019; Fahrurrozi et al., 2019; Drazic et al., 2020). Sin embargo, bajo condiciones del litoral ecuatoriano y especialmente en Manabí estas tecnologías no se han probado y validado en la producción de maíz blanco cultivado en secano, lo cual es una limitante para emitir dominios de recomendaciones acertadas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a investigaciones de largos años establecidos por el Departamento de Fisiología de cultivos de la Universidad de Illinois (2018), existen siete factores que definen el rendimiento del cultivo de maíz a nivel mundial, entre los cuales el clima, la fertilización nitrogenada y el genotipo son los mayores contribuyentes con el 27, 26 y 19%, respectivamente. En este sentido, como ya se ha revisado que en Manabí en los últimos años las lluvias han presentado un comportamiento errático con periodos de sequía en plena época lluviosa, lo cual afecta la eficiencia de los fertilizantes granulados y la nutrición del cultivo, se hace sumamente importante buscar alternativas de fertilización que permitan ser más eficiente la nutrición del cultivo aún bajo las limitantes ambientales previamente descritas. Por otra parte, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) a través del Programa de maíz de la Estación Experimental Portoviejo, ha liberado en los últimos años material genético con tolerancia a estrés hídrico,

lo cual es de gran ayuda bajo las limitaciones hídricas que se producen en seco. En este contexto, la efectividad de fertilización líquida probada en trabajos previos, podría potenciar el rendimiento de los genotipos ya existentes con caracteres de tolerancia al estrés hídrico, y de comprobarse lo anterior, permitiría desarrollar una tecnología de fertilización eficiente, con incrementos del rendimiento del cultivo y de ingresos económicos para productores maiceros de Manabí que practican agricultura de seco. Por lo anteriormente descrito, la investigación propuesta se justifica plenamente.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

- Evaluar la efectividad agronómica y económica de la fertilización líquida en maíz blanco para consumo en fresco bajo condiciones de seco

1.3.2. Específicos

- Comparar la eficacia de la fertilización líquida vs la fertilización granulada sobre el rendimiento del maíz blanco para consumo en fresco bajo condiciones de seco
- Estimar las ventajas económicas de la fertilización líquida en maíz blanco bajo condiciones de seco

1.3.3. HIPÓTESIS

- La fertilización líquida es eficaz para incrementar el rendimiento, la eficiencia agronómica de la fertilización y el beneficio económico del maíz blanco para consumo en fresco bajo condiciones de seco

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN DEL MAIZ (*Zea mays* L.)

El maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América. Hoy no hay dudas del origen americano del maíz, pero nunca fue mencionado en ningún tratado antiguo, ni en la Biblia, hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, quien lo vio por primera vez en la isla de Cuba en octubre de 1492 (ACOSTA, 2009).

2.2. TAXONOMÍA

CABI (2019) menciona la clasificación taxonómica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Clase: Monocotyledonae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

2.3. DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA

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. 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 nutrientes. 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. 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 centímetros de ancho por 35 a 50 centímetros 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, sf).

2.4. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAIZ

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. En Ecuador, se han reconocido 29 razas de maíz, de las cuales 17 pertenecen a la Sierra, por lo que se considera a esta región como fuente de las mayores riquezas genéticas por unidad de superficie en este cultivo (Coral *et al*, 2019).

2.5. FERTILIZANTES LIQUIDOS

Son todas aquellas sustancias en estado líquido que contienen una cantidad apreciable de uno o varios elementos necesarios o primarios en forma asimilable por las plantas.

Los componentes primarios y más necesarios para la agricultura son:

Nitrógeno. La falta de este nutriente es el responsable del crecimiento limitado de las raíces de la planta, hojas pequeñas y decoloradas y de la caída de los frutos, entre otras.

Fósforo. Su carencia puede producir una coloración extraña en las hojas de las plantas, así como un retraso en su crecimiento.

Potasio. La deficiencia de potasio aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades. También provoca que la planta tenga tallos débiles y raíces poco desarrolladas (Agrifluid, sf).

Valerio y Molina (2012), evaluaron el efecto de la aplicación de una enmienda calcárea líquida sobre el rendimiento del arroz y la fertilidad del suelo. El ensayo se realizó en un Ultisol de Los Chiles, Alajuela. Se utilizó una enmienda líquida que contiene 40% de Ca en forma de CaCO_3 y 6,9% de N en forma de urea (Cal 56®).

Los resultados indicaron que hubo respuesta del cultivo del arroz al uso de enmiendas en estos suelos de acidez moderada y niveles medios de bases intercambiables.

2.6. MAÍZ BLANCO INIAP 543- QPM

(Andrade *et al*, 2019), menciona las principales características de la variedad INIAP 543-QPM:

2.6.1. ORIGEN GENÉTICO

INIAP 543-QPM es una variedad sintética de libre polinización, procedente de la población ACROSS-8363 introducida del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y desarrollada por el Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP.

2.6.2. DESARROLLO

Durante los años 2015 al 2017 se realizó la selección base de mejoramiento genético, cuatro ciclos de selección de medios hermanos, recombinación de las 10 mejores familias en ensayos dialélicos y formación de la variedad sintética. Entre el 2018 y 2019 se iniciaron los experimentos multi-ambiente en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas y Santa Elena, evaluando en 10 localidades la producción de mazorcas en fresco (choclos) y en cuatro localidades a nivel de grano. El potencial de producción en fresco de la variedad INIAP 543-QPM durante la época seca bajo riego es de 40000 choclos comerciales y en la época lluviosa 35000 choclos; el rendimiento promedio en seco oscila entre los 5 a 6 TM/ha. INIAP 543-QPM fue comparado con una variedad y un híbrido, ambos de grano blanco y de categoría comercial.

2.6.3. ZONIFICACIÓN

INIAP 543-QPM se ha desarrollado para las principales zonas chocleras del Litoral ecuatoriano, con altitud desde el nivel del mar hasta los 1000 metros, temperatura media de 25°C, precipitaciones entre los 500 a 1200 mm, humedad relativa entre 70 a 90% y heliofania de 820 a 1300 horas luz.

2.6.4. EPOCA DE SIEMBRA

Se recomienda la siembra con las primeras precipitaciones de la época lluviosa y en los primeros meses del verano en zonas con disponibilidad de riego o bajo condiciones de humedad remanente.

2.6.5. PRINCIPALES USOS

INIAP 543-QPM por su alta calidad de proteína es recomendado para consumo directo en fresco en la elaboración de diferentes platos típicos de la población de Ecuador, para fines agroindustriales en la elaboración de alimentos balanceados y materia prima en ensilaje.

2.6.6. Rendimientos promedios en choclos y grano seco TM/ha-1 de INIAP 543-QPM en varias localidades del Litoral ecuatoriano durante el periodo lluvioso y seco bajo riego.

Provincia	Localidad	2018: Riego		2019: Lluvia	
		Rendimientos/ha			
		Choclos (#)	Grano seco (TM)	Choclos (#)	Grano seco (TM)
	EEP	47104	6.3	43917	2.9
Manabí	Lodana	42500		44271	
	Calceta	52417			
Los Ríos	EETP	42677	2.9	32760	3.0
Guayas	Balzar	46219		38427	
Santa Elena	El Azúcar	31344			

EEP= Estación Experimental Portoviejo
EETP= Estación Experimental Tropical Pichilingue

Gráfico 1: Rendimientos promedios en choclos y grano seco TM/ha-1 de INIAP 543-QPM en varias localidades del Litoral ecuatoriano durante el periodo lluvioso y seco bajo riego.

2.6.7. Principales características de la variedad INIAP 543-QPM

Descriptores	Datos agronómicos	Media / Moda	Valor mínimo	Valor máximo
Tipo de variedad:	Libre polinización			
Altura de planta (cm)		261.4	175.0	315.0
Altura de inserción de mazorca (cm)		142.3	80.0	176.0
Floración femenina (días):	Precoz	55.0	50.0	64.0
Acame de raíz (%):	Resistente	1.0	0.0	24.0
Acame de tallo (%):	Resistente	1.6	0.0	16.0
Tipo de mazorca:	Cónica-cilíndrica			
Cobertura de mazorca:	Buena	2	2	2
Longitud de mazorca (cm)		18.3	16.2	20.7
Diámetro de mazorca (cm)		4.5	2.8	5.0
Color del grano:	Blanco			
Textura del grano:	Dentado			
Peso 1000 Semillas (g)		373.7		
Cosecha en choclo:	75-80 días			
Ciclo Vegetativo:	120 días			
Proteína total (%)**		8.95		
Triptófano (%)**		0.074		
Lisina (%)**		0.396		
Índice de calidad**		0.827		
<i>Puccinia sorghi</i> :	<i>Infeción débil*</i>	1	1	2
<i>Cercospora zae-maydis</i> :	<i>Infeción débil*</i>	1	0	3
<i>Helminthosporium maydis</i> :	<i>Infeción moderada*</i>	3	2	4
<i>Curvularia lunata</i> :	<i>Infeción moderada*</i>	3	3	4

* Escala de calificación de enfermedades foliares del CIMMYT, 1985
 ** Laboratorio de Nutrición y Calidad CIMMYT, 2019.

Gráfico 2: Principales características de la variedad INIAP 543-QPM

2.6.8. FERTILIZACIÓN

Es importante contar con el respectivo análisis químico del suelo para determinar los requerimientos del cultivo. En caso de no disponerlo, puede establecer un programa de fertilización con 75 kg de Nutrimenores I + 50 kg Sulfato de magnesio + 100 kg de Muriato de potasio/ha, aplicado a los ocho días después de la siembra; posteriormente use 80 kg N/ha (cuatro sacos de urea) entre los 15 a 20 días después de la siembra y finalmente, 80 kg N/ha (cuatros sacos de urea) a los 40 días desde la siembra. El fertilizante debe colocarse en bandas a 10 cm de las plantas, en suelo con suficiente humedad y libre de malezas.

2.7. PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE MAÍZ

En los últimos años la producción de nuevas cepas de maíz mejoradas se ha venido incrementando en el Ecuador de tal manera que la oferta de maíz ya supera a la demanda lo que obliga a los productores a buscar nuevos mercados. En la última década la demanda de alimentos orgánicos en Estados Unidos ha crecido a tal punto de ser el mayor mercado a nivel mundial, esto sumado a que los productos ecuatorianos no pagan aranceles lo convierte en un mercado muy atractivo para exportar maíz orgánico. Para poder exportar un alimento orgánico a los Estado Unidos es necesario cumplir una serie de requisitos y obtener una certificación internacional de calidad, por tal razón el objetivo del proyecto es determinar la viabilidad de crear una empresa dedicada a la producción y exportación de maíz blanco orgánico hacia Estados Unidos (Alvarez & Veliz, 2014).

2.8. DEMANDA INTERNACIONAL

Aproximadamente el 3% de la producción de maíz de EE. UU. Se utiliza anualmente para consumo humano. De eso, el maíz blanco representa menos del 1%. Sin embargo, la demanda de maíz blanco está aumentando a medida que la población latina de los Estados Unidos se expande y la popularidad de la cocina hispana crece. El maíz blanco es a menudo la variedad de maíz preferida para su uso en el estilo mexicano y otros alimentos a base de maíz, como tortillas, hojuelas de maíz, harina de maíz, sémola y maíz.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en el sitio Figueroa, cantón Bolívar, provincia Manabí, geográficamente ubicado entre las coordenadas 00°49'27.9" de Latitud Sur y 80°10'47.2" de Longitud Oeste, una altitud de 15,5 msnm, 84.3% de humedad relativa, una temperatura media de 27°, 324.3 mm de evaporación y 1045.8 mm de precipitación

Condiciones de clima

Años	Humedad Relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Evaporación (mm)	Precipitación (mm)	Recorrido del viento (km/hora)	Heliofanía (Horas sol)
2011	80,9	30,7	21,5	26	1739,5	527,9	498,5	1324,5
2012	82,9	30,4	22	26	1397,7	1638,9	547,7	1182,9
2013	83,8	29,9	21,7	25	1341,4	962,4	632,4	1026,8
2014	82	30,7	21,2	26	1269,6	777,3	555,3	925,2
2015	82,3	31,4	22,3	27	1323,7	992,7	519	1134,7
2016	80,3	31,2	22,1	26	1291,1	953,4	583,8	1118,5
2017	83,5	30,7	22,1	26	1207,7	1338,9	615,2	1079,5
2018	81,4	30,7	21,4	26	1256,3	782,6	570,2	1109,8
2019	84,3	30,6	21,3	26	1182,7	979,9	557,5	966,8
2020	83,3	31,5	21,7	27	591,1	565	466,8	497,5
2021	84,3	31,1	20,7	27	324,3	1045,8	2031,4	387
Media	82,6	30,8	21,6	26,2	1175,0	960,4	688,9	977,6

Fuente: Estación meteorológica ESPAM "MFL"

3.2. DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

Este trabajo de investigación se desarrolló durante la temporada lluviosa y tuvo una duración de 22 semanas de ejecución, a partir del mes de enero a julio de 2021.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El trabajo que se desarrolló fue experimental de carácter descriptivo y de análisis.

3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo conformada de parcelas de 24 m² donde las plantas serán establecidas a 0.80 m entre hileras y 0.25 m entre plantas con una densidad de 50000 plantas ha⁻¹.

3.5. TRATAMIENTOS

T1: Fertilización superficial en drench superficial

T2: Fertilización superficial en drench inyectada

T3: Fertilización granulada en banda superficial

T4: Tratamiento control (Omisión de N)

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos, cinco repeticiones y 20 unidades experimentales

3.7. Esquema del ADEVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	3
Bloques	4
Error	12
Total	19

3.8. VARIABLES RESPUESTA

3.8.1. Morfo-agronómicas

- **Altura de planta (cm):** la altura de planta se registró desde la base hasta la hoja bandera, este valor se registró en centímetros después de la floración femenina.

- **Diámetro de tallo (mm):** se registró después de la floración femenina en la base del tallo en mm.
- **Número de hojas antes de floración:** se registró antes de la floración completa, realizando el conteo de las hojas que tenga las plantas a evaluar
- **Peso fresco de planta (g):** se registró al momento de la madurez fisiológica cuando la planta haya alcanzado su máximo crecimiento.
- **Peso fresco de raíces (g):** se registró al momento de la madurez fisiológica cuando la planta haya alcanzado su máximo crecimiento.

3.8.3. Análisis económico de beneficio neto

El análisis económico se realizó a través de la estimación del beneficio neto de los tratamientos propuestos. Para esto se estimó los costos que varían por tratamiento (CqV), los que estuvieron en función del costo de la fertilización, aplicaciones, costo unitario de insumos (U\$kg⁻¹ o L⁻¹) y costo de la mano de obra (jornales). En el tratamiento Testigo, el costo que varía será cero (CqV=0). Con los datos de mazorcas comerciales (almú ha⁻¹) y precio unitario de venta (U\$almú⁻¹) se calculó los ingresos brutos. Con base en la diferencia entre los rendimientos de cada tratamiento y el testigo se estimó el efecto de la aplicación de fertilización. Con los datos de costos e ingresos se calculó los beneficios netos (Duicela y Ponce, 2015).

3.10. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.10.1. Tratamiento de semillas

Las semillas fueron tratadas con la mezcla insecticida a base de Thiametoxan en dosis de 3 cc kg⁻¹ de semillas + Thiodicar en dosis de 15 cc kg⁻¹ de semilla, esto con la finalidad de proteger las plántulas durante la emergencia de insectos chupadores y cortadores.

3.10.2. Control de malezas en pre-emergencia

Se aplicó la mezcla de los herbicidas Atrazina-80 + pendimetalin en dosis de 1.5 + 3 litros ha⁻¹, respectivamente. Al existir presencia de malezas al momento de la siembra, se incluyó a la mezcla anteriormente descrita 1.5 litros de glifosato.

3.10.3. Control de malezas en post-emergencia

Para la presencia de hoja ancha o coquito, luego del tratamiento en pre-emergencia, se aplicó Bentazon + MCPA en dosis de 1.5 litros ha⁻¹ de cada uno, a partir de la segunda o tercera hoja del cultivo hasta que el maíz tuvo como máximo cinco hojas.

3.10.4. Fertilización

La fertilización se realizó en base a análisis de suelo y demanda nutricional del cultivo. En este sentido, debido a información de base de datos del Ministerio de Agricultura, AGROCALIDAD e INIAP relacionados a análisis químico de suelos de la provincia de Manabí, se conoce que la mayoría de suelos en zonas maiceras de Manabí, presentan bajos contenidos en N, medios a altos en P, K y Ca, bajos a medios en Mg y S, y bajos en Zn y B. Con este antecedente se describen en las tablas 1 y 2 los planes de fertilización líquida y granulada respectivamente.

La dosis de fertilización edáfica por hectárea utilizada fue de 150 kg de N, 30 kg de P₂O₅, 60 kg de K₂O, 25 kg MgO y 40 kg de S. Para la fertilización líquida se utilizó fertilizantes solubles como: Urea, Fosfato mono potásico, Sulfato de amonio, Sulfato de Mg y Cloruro de potasio. Para la fertilización granulada se utilizó fertilizantes convencionales como: Urea, Sulfato de amonio granulado, Sulfato de Mg granulado, Fosfato di amónico y Cloruro de potasio granulado.

La urea se aplicó en tres fracciones y proporciones, según lo recomendado por García y Espinoza (2009) para fuentes nitrogenadas, donde la primera se realizó en etapa fenológica VE (emergencia) colocando el 20% del fertilizante, los dos restantes se aplicaron en las etapas V6 (hoja 6) y V10 (hoja 10) con el 40% de la urea en cada aplicación. El fertilizante fosfatado se aplicó en su totalidad a la emergencia del cultivo (VE). El resto de fertilizantes se aplicaron en dos fracciones y proporciones, el 50% en la etapa VE y el resto en la etapa V6. En la fertilización líquida, los fertilizantes diluidos se colocaron en drench superficial e inyectados al suelo según el respectivo tratamiento.

La fertilización líquida fue aplicada con bomba dosificadora y complementada con materia orgánica líquida (melaza) y un bioestimulante a base aminoácidos y

extractos de algas, esto con la finalidad de activar microbiología del suelo e inducir tolerancia al estrés hídrico. La fertilización granulada fue aplicada en banda superficial. En ambos tipos de fertilización, se realizaron aplicaciones de un coctel foliar conformado de micronutrientes y bioestimulante a base de algas marinas en las etapas V6 y V10.

3.10.5. Control fitosanitario

Se realizó controles de acuerdo a los umbrales económicos establecidos y recomendaciones emitidas por el Departamento de Protección Vegetal de la EE – Portoviejo del INIAP.

3.11. Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la separación de medias con la prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Componentes de crecimiento

Las variables de crecimiento altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y peso seco de raíces, fueron influenciadas significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización (Tabla 1). La altura de planta fue estadísticamente igual entre los tratamientos de fertilización en drench inyectado, drench superficial y fertilización granulada, pero diferentes al tratamiento control (Tabla 1). Del mismo modo, el diámetro de tallo alcanzado por los tres tratamientos de fertilización fue estadísticamente igual, pero diferentes al control (Tabla 1). El área foliar fue mayor en los tratamientos de fertilización en drench inyectado y superficial, con un incremento del 16.82 y 18.35 % con respecto al tratamiento de fertilización granulada, respectivamente (Tabla 1). De manera similar sucedió con el peso seco de raíces, donde los tratamientos de fertilización en drench inyectado y superficial fueron superiores a la fertilización granulada tradicional con el 16.43 y 15.46 % de incremento de peso seco radicular (Tabla 1). En todos los casos, el tratamiento control mostró los promedios más bajos de crecimiento, lo cual evidencia la importancia de la fertilización en maíz.

Tabla 1. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre el crecimiento del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de sequo.

Tratamientos de fertilización	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (m ²)	Peso seco de raíces (g)
Drench Inyectado	2.66 a ^{1/}	27.82 a	1.07 a	47.84 a
Drench superficial	2.62 a	27.69 ab	1.09 a	47.29 a
Fertilización granulada	2.50 a	26.54 b	0.89 b	39.98 b
Control	2.29 b	22.04 c	0.70 c	34.57 c
p-valor ANOVA	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	3.70	2.55	6.37	3.21

^{1/}Medias en columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los resultados de crecimiento son cercanos a los obtenidos por Manuwa et al. (2015) y Steuslof et al. (2019), quienes lograron mayor crecimiento de maíz cuando recibió fertilización con fuentes líquidas, en comparación a la fertilización convencional. Así mismo, los resultados obtenidos se relacionan a los reportados por Arifin (2019), quien logró mayor crecimiento de plantas de maíz que

recibieron fertilización NKP líquida complementaria. Resultados cercanos también fueron hallados por Ren et al. (2021), quienes lograron mayor acumulación de materia seca en plantas de maíz fertilizadas con una solución de nitrato de amonio, con relación a la fertilización con urea convencional.

4.2 Componentes de rendimiento y rendimiento de mazorcas

Las variables del componente de rendimiento, longitud de mazorca con y sin brácteas, diámetro de mazorca con y sin brácteas y peso de mazorca con y sin brácteas, fueron influenciadas significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización (Tabla 2). La longitud de mazorca con bráctea fue estadísticamente similar entre los tratamientos de fertilización de drench inyectado y drench superficial, pero superior al tratamiento de fertilización en banda con incrementos de 7,61% y 4,91% respectivamente. Efecto similar fue reportado para longitud de mazorca sin brácteas, donde los tratamientos de fertilización en drench inyectado y superficial fueron estadísticamente iguales, pero diferentes del granular en banda, con un incremento de 10,28% y 7,71% respectivamente (Tabla 2).

El diámetro de mazorca con brácteas fue estadísticamente similar entre los tratamientos de fertilización de drench inyectado, superficial y granular en banda. Sin embargo, el diámetro de mazorca sin brácteas fue estadísticamente igual entre drench inyectado y superficial pero diferente de los tratamientos con fertilización granular en banda con incremento del 6,61% y 4,16% respectivamente (Tabla 2), lo puede indicar que la fertilización líquida favorece el desarrollo de la mazorca.

Por otra parte, el peso de mazorca con brácteas fue similar estadísticamente entre los tratamientos drench inyectado y superficial pero diferentes del granular en banda con incrementos de 15,79% y 11,85% respectivamente. Por último, el peso de mazorca sin brácteas fue estadísticamente igual entre los tratamientos de fertilización líquida inyectada y superficial, pero diferente a la fertilización en banda superficial con incrementos del 9,79 y 6,37%, respectivamente. En todos los casos el tratamiento control logró los promedios más bajos en todos los componentes de rendimiento evaluados (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre componentes de rendimiento del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano.

Tratamientos de fertilización	Longitud de mazorca (cm)		Diámetro de mazorca (cm)		Peso de mazorca (g)	
	Con brácteas	Sin brácteas	Con brácteas	Sin Brácteas	Con brácteas	Sin brácteas
	Drench Inyectado	38.38 a ^{1/}	20.42 a	5.62 a	4.69 a	439.93 a
Drench superficial	37.29 ab	19.85 a	5.60 a	4.57 a	420.29 a	244.06 a
Granulada en banda	35.46 c	18.32 b	5.32 a	4.38 b	370.47 b	228.51 b
Control	31.33 d	16.02 c	4.83 b	4.10 c	278.87 c	169.13 c
p-valor ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	4.05	5.67	3.10	4.06	5.98	4.82

^{1/}Medias en columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey (p<0.05)

La cantidad de mazorcas comerciales y bultos comerciales fueron afectados estadísticamente (p<0.05) por los tratamientos de fertilización evaluados, donde los tratamientos de fertilización en drench inyectado y superficial mostraron la mayor producción de mazorcas comerciales con incrementos del 13,70 y 12,86%, con relación a la fertilización granulada. Situación similar se logró para la producción de bultos comerciales, donde los tratamientos de fertilización líquida inyectada y superficial lograron un incremento del 13,72 y 13,09%, con relación al tratamiento de fertilización granulada, mientras que el tratamiento control alcanzó el menor nivel de producción de mazorcas y bultos comerciales (Figura 1 y 2).

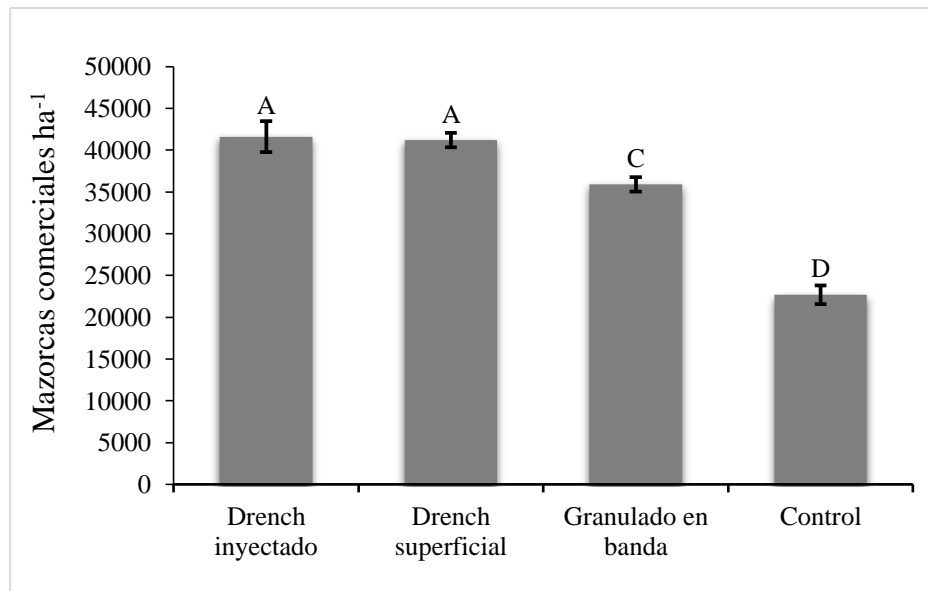


Figura 1. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre la producción de mazorcas comerciales del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0.05$).

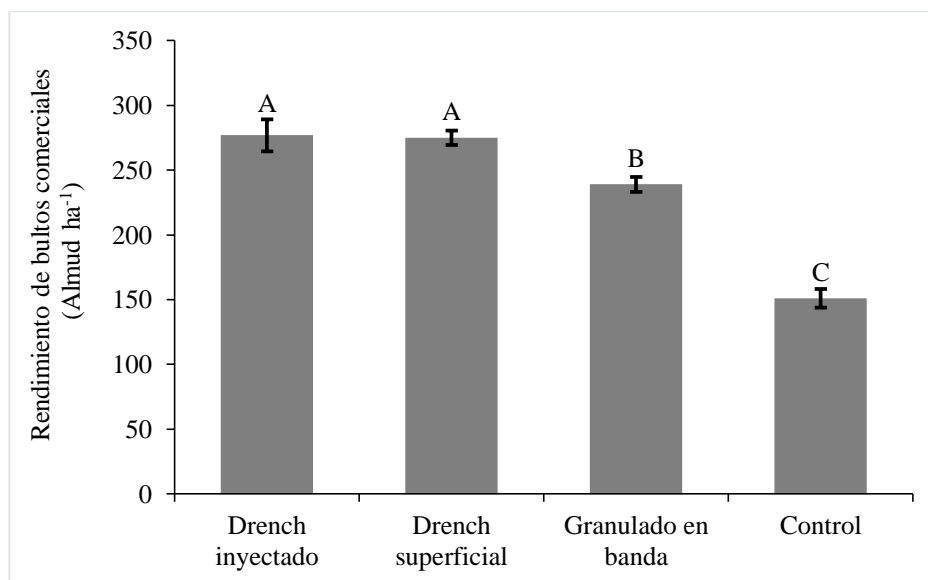


Figura 2. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre la producción de almud del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0.05$).

El rendimiento de mazorcas comerciales con brácteas fue afectado estadísticamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización evaluados, donde los tratamientos de fertilización de drench inyectado y superficial mostraron el

mayor incremento de rendimiento, con el 28,31% y 23,10%, respectivamente, con relación al tratamiento de fertilización granulada (Figura 3). De manera similar, el rendimiento de mazorcas comerciales sin brácteas fue afectado significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización evaluados, donde los tratamientos de fertilización de drench inyectado y superficial mostraron el mayor incremento de rendimiento de mazorcas sin brácteas, con un 23,33% y 18,58%, respectivamente, en comparación al tratamiento de fertilización granulada (Figura 4). En ambos casos, el tratamiento control presentó los promedios más bajos de rendimiento de mazorcas con y sin brácteas (Figuras 3 y 4).

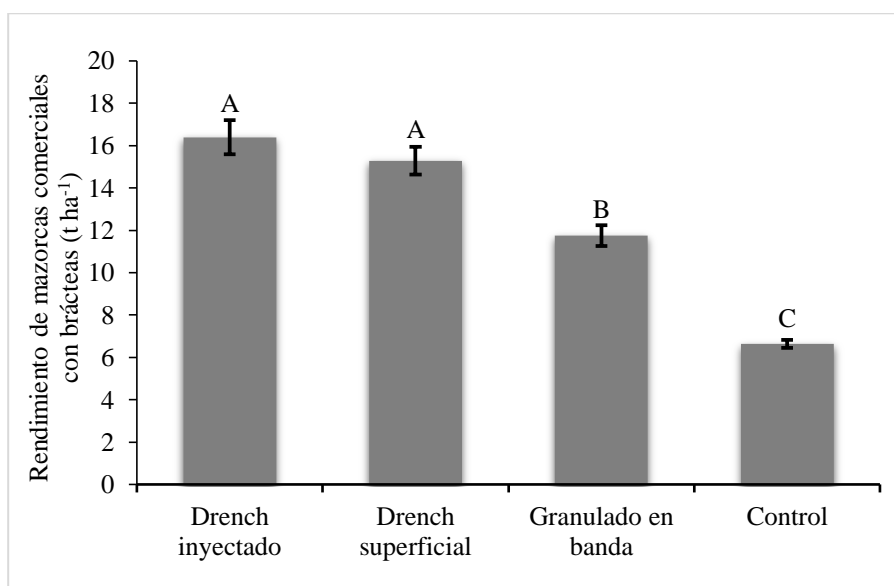


Figura 3. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre el rendimiento de mazorcas comerciales con brácteas del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0.05$).

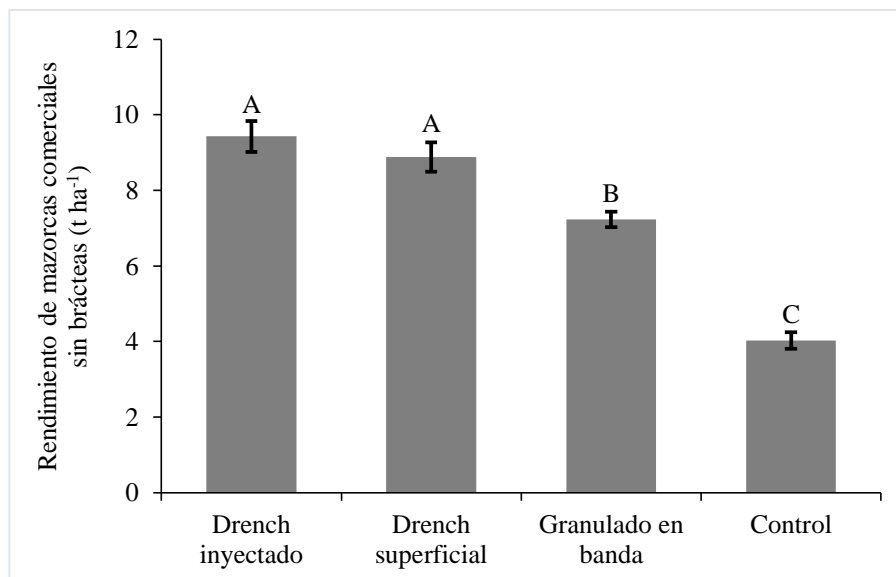


Figura 4. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre el rendimiento de mazorcas comerciales sin brácteas del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados hallados para los componentes de rendimiento y rendimiento del maíz, son cercanos a los encontrados por Manuwa et al. (2015) quienes lograron rendimientos mayores en maíz con fertilizantes orgánicos líquidos, en comparación a los sólidos. Por su parte Steuslof et al. (2019), reportaron mayores rendimientos de maíz con fertilizantes nitrogenados líquidos, con relación a los aplicados de manera superficial en el suelo. Por otra parte, resultados obtenidos por Drazic et al. (2020) mostraron que la elección óptima de la técnica de aplicación de fertilizante líquido de arranque puede potenciar el rendimiento del maíz, y resultar en un ahorro de fertilizante del 30% sin reducir el rendimiento. En este mismo contexto, los resultados obtenidos son semejantes a los logrados por Ren et al. (2021), quienes reportaron que la aplicación líquida de nitrato de amonio incrementó el rendimiento del maíz en un 9,1 %, en comparación con el tratamiento de urea convencional. Añadiendo información en cuanto al incremento del rendimiento los Laboratorios CSR (2022) hace mención a las ventajas que presenta la aplicación de fertilizantes líquidos, generalizando, estos fertilizantes ayudan a obtener una rápida absorción por la planta y por consiguiente un mayor aprovechamiento de los

nutrientes aplicados, dando como resultado un incremento en el rendimiento de la planta.

4.3 Eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) y beneficio económico de la fertilización líquida

La EAN fue influenciada significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización probados, donde los tratamientos de fertilización de drench inyectado y superficial mostraron el mayor aumento de rendimiento de mazorcas sin brácteas por kg de nitrógeno aplicado, con un incremento del 40,73% y 33,90%, con relación al tratamiento de fertilización granulada (Figura 5). La fertilización líquida inyectada logró una EAN de 35,99 kg de mazorcas por kg de N aplicado, seguido de la fertilización líquida superficial con una EAN de 32,27 kg de mazorcas por kg de N aplicado. En comparación con lo anterior, la fertilización granulada en banda superficial logró la menor EAN con 21,33 kg de mazorcas por kg de N aplicado (Figura 5).

Estos resultados se acercan a los reportados por Tauchnitz et al. (2018), quienes lograron una eficiencia de recuperación de nitrógeno de hasta 78% con la técnica de labranza en franjas con inyección de abono líquido debajo de la posición de la semilla en maíz. Los resultados logrados también muestran similitud a los obtenidos por Ren et al. (2021), quienes reportaron que la productividad parcial de N, la eficiencia agronómica de N y la tasa de recuperación de N con fertilización líquida a base de nitrato de amonio, aumentaron en un 9.1, 19.8 y 31.2%, respectivamente, en comparación con los del tratamiento con urea convencional.

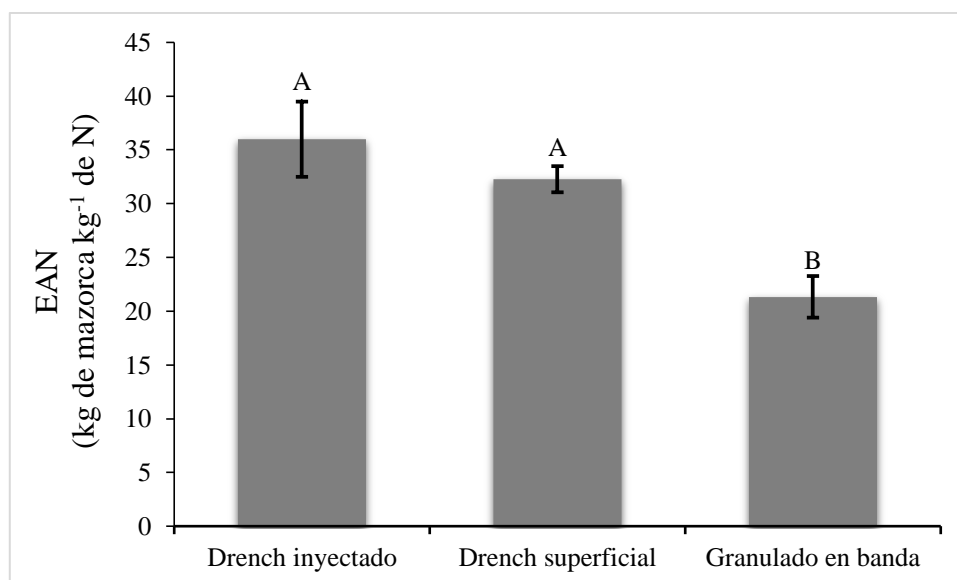


Figura 5. Efecto de tres modalidades de fertilización sobre la eficiencia agronómica de nitrógeno del maíz INIAP 543 – QPM bajo condiciones de secano. Cada barra representa la media de cuatro repeticiones (\pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre medias (Tukey, $p < 0.05$).

En la tabla 3, se describe detalladamente el análisis de beneficio económico total (BET) y neto (BEN) de la fertilización en maíz para consumo en fresco. Con relación al tratamiento control, las fertilizaciones líquidas en drench, inyectada y en banda superficial incrementaron en BET en 888, 862 y 586 USD ha⁻¹, respectivamente, lo cual indica que la fertilización del maíz tiene ventajas económicas. Las fertilizaciones líquidas en drench e inyectada alcanzaron el mayor BEN de la fertilización, con un incremento de 302 y 276 USD ha⁻¹, con respecto a la fertilización granulada en banda superficial, lo cual indica que bajo condiciones de secano, donde la humedad del suelo puede estar limitada por la falta de lluvias, la fertilización líquida puede ser más conveniente.

Estos resultados se acercan a los obtenidos por Arifin (2019), quien reportó que la aplicación de fertilizante NPK líquido es muy eficaz para aumentar el rendimiento del maíz en 9,10 t/ha granos secos y tiene una relación B/C de 3.55, por lo que es económicamente factible. En este mismo contexto, Drazic et al. (2020) concluyeron que la técnica de fertilización líquida puede potenciar el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de maíz. Conclusiones similares fueron halladas por Artemieva (2018), que reportó una alta eficiencia y rentabilidad de

los fertilizantes organominerales líquidos en el cultivo de cebada de primavera, con un nivel de rentabilidad entre el 152 y 231%.

Tabla 3. Beneficio económico total y neto de tres técnicas de fertilización en maíz INIAP 543 – QPM para consumo en fresco.

Tratamientos de fertilización	CT	CqnV	CqV	ICqV	Ren	IRen	PUV	ling	IT	BET	BEN
F. líquida inyectada	1452	652	800	650	277	126	12	1512	3324	1872	862
F. líquida en drench	1402	652	750	600	275	124	12	1488	3300	1898	888
F. granulada en banda	1272	652	620	470	239	88	12	1056	2868	1596	586
Control	802	652	150	0	151	0	12	0	1812	1010	0

CT: Costos totales (USD ha⁻¹), **CqnV:** Costos que no varían por la fertilización – USD ha⁻¹ (Semilla, preparación de terreno, siembra, control fitosanitario), **CqV:** Costos que varían por la fertilización – USD ha⁻¹ (Fertilizantes, aplicaciones y labor de cosecha), **ICqV:** Incremento de costos que varían por la fertilización – USD ha⁻¹ (ICqV = CqV_{tratamientos} – CqV_{control}), **Ren:** Rendimiento (Almud ha⁻¹), **IRen:** Incremento de rendimiento de tratamientos de fertilización con relación al control (IRen = Ren_{tratamientos} – Ren_{control}), **PUV:** Precio unitario de venta (USD Almud⁻¹), **ling:** Incremento de ingresos con fertilización con relación al control – USD ha⁻¹ (ling = IRen * PUV), **IT:** Ingresos totales USD ha⁻¹ (IT = Ren * PUV), **BET:** Beneficio económico total – USD ha⁻¹ (BET = IT - CT), **BEN:** Beneficio económico neto de la fertilización – USD ha⁻¹ (BEN = ling - ICqV).

Finalmente, la fertilización líquida independientemente si es aplicada de forma inyectada o en drench superficial, presentó mayores incrementos de crecimiento, rendimiento, EAN y BEN, bajo condiciones de secano, en comparación a la fertilización granulada en banda superficial. Lo anterior puede deberse a que, bajo condiciones de secano, la humedad superficial del suelo puede verse limitada por ausencia o frecuencias de lluvias muy amplias, lo cual no permite que los fertilizantes granulados se disuelvan totalmente, los cuales permanecen días expuestos a la radiación solar y altas temperaturas, provocando una reducción significativa de su eficiencia y asimilación por parte del cultivo (Subhani et al., 2012; Shiferaw, 2017; Morris et al., 2018; Plett et al., 2020). Por el contrario, la fertilización líquida bajo condiciones de secano, puede ser más efectiva que granulada, debido a que los nutrientes ya van disueltos en el agua, y por ende al depositarse directamente en la zona de las raíces, puede ser mayormente aprovechado por la planta, que por ende potenciaría en mejor medida el crecimiento, rendimiento, EAN y rentabilidad del cultivo (Walsh y Christiaens, 2016; Steusloff et al., 2019).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En general, la fertilización líquida fue efectiva para potenciar los componentes de crecimiento y rendimiento del maíz en seco, en comparación a la fertilización granulada en banda superficial.
- La fertilización líquida independientemente si es aplicada de manera inyectada o en drench superficial, logró mayores rendimientos de mazorcas comerciales y mejoró la eficiencia agronómica de nitrógeno, en relación a la fertilización granulada en banda superficial.
- La fertilización líquida en drench superficial alcanzó mayores beneficios económicos totales y netos, con relación a la fertilización líquida inyectada y la granulada en banda superficial.

5.2. RECOMENDACIONES

- Bajo sistemas de producción de seco, donde las lluvias pueden ausentarse por periodos muy prolongados, y por tanto limitar la humedad superficial del suelo, es conveniente realizar la fertilización del maíz de manera líquida, con fines de promover un mejor uso eficiente de nutrientes.
- Cuando las lluvias son normales y frecuentes, la fertilización granulada en banda superficial puede utilizarse sin ningún inconveniente para el cultivo de maíz.

BIBLIOGRAFÍAS

- Acosta, Rosa. (2009). El cultivo del maíz, Su origen y clasificación. EL MAIZ en Cuba. Cultivos Tropicales, 30(2), 00. Recuperado en 19 de enero de 2021, disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016&lng=es&tlng=es
- Alarcón, D.; Limongi, J.; Zambrano, E. y Navarrete, J. (2019). Desarrollo de una variedad de maíz tropical de grano blanco con calidad de proteína para consumo en fresco. Avances en Ciencias e Ingeniería 11(17): 30 – 39.
- Arifin, Z. (2019). The Effect of Liquid NPK Fertilizing on Corn Plants. International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS), AIP Conf. Proc. 2120, 030013-1–030013-10; disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5115617>
- Artemieva, K. (2018). Economic efficiency of complex application of liquid organomineral fertilizers. UDC 631.16:631.895. disponible en: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201805-12>
- Cabot, C.; Martos, S.; Llugany, M.; Gallego, B.; Tolrà, R.; Poschenrieder, C. 2019. A Role for Zinc in Plant Defense Against Pathogens and Herbivores. Front. Plant Sci. 10:1171.
- Drazic, M.; Gligorevic, K.; Pajic, M.; Zlatanovic, I.; Spalevic, V.; Sestras, P.; Skataric, G.; Dudic, B. (2020). The Influence of the Application Technique and Amount of Liquid Starter Fertilizer on Corn Yield. Agriculture 10(347): 1 – 13.
- Duicela, L. y Ponce, L. (2015). Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. La Técnica 15: 6–17.
- Fahrurrozi, F.; Mukhtar, Z.; Setyowati, N.; Sudjarmiko, S.; Chozin, M. (2019). Comparative Effects of Soil and Foliar Applications of Tithonia-Enriched Liquid Organic Fertilizer on Yields of Sweet Corn in Closed Agriculture Production System. AGRIVITA Journal of Agricultural Science 41(2): 238–245.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2019). Dirección de estadística FAOSTAT. Consultado en línea

- (noviembre 22 del 2020). Disponible en:
<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FAO. (2020) Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets: June 2020. Food Outlook, 1. Rome. Disponible en:
<https://doi.org/10.4060/ca9509en>
- García, J. y Espinoza, J. (2009). Efecto del fraccionamiento del nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas* 72: 1 – 5.
- Grimmer, M.; Foulkes, M.; Paveley, N. (2012). Foliar pathogenesis and plant water relations: a review. *Journal of Experimental Botany* 63(12): 4321–4331.
- Gupta, N.; Debnath, S.; Sharma, S.; Sharma, P.; Purohit, J. (2017). Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. Chapter 8: 217 – 262. In: V.S. Meena et al. (eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, DOI 10.1007/978-981-10-5343-6_8.
- IPNI, (2012). 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, Metric Version. (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, Eds.). International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA, USA.
- Jiménez, S.; Castro, L.; Yépez, J. y Wittmer, C. (2012). Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia del Ecuador. *Avances de Investigación* 66: 1 – 92.
- Jones, T. (2009). “Maize tissue culture and transformation: the first 20 years”, Chapter 2: in *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement*. Eds A.L. Krizand and B.A. Larkins (Heidelberg: Springer). pp 7–27.
- Kassim, Susilawati & Ahmed, Osumanu & Majid, Nik. (2011). Effectiveness of liquid organic-nitrogen fertilizer in enhancing nutrients uptake and use efficiency in corn (*Zea mays*). *African Journal of Biotechnology*. 10. 2274-2281. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2017. Boletín situacional del cultivo. SINAGAP, Superficie, producción y rendimiento, maíz duro seco. Consultado en línea (noviembre 13 del 2019). Disponible en:
http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin_situacional_maiz_duro_2017.pdf

- Limongi Andrade, Ricardo & Alarcón-Cobeña, Daniel. (2019). Nutrichoclo INIAP 543-QPM Variedad de maíz con alta calidad de proteína para el consumo en choclo en el Litoral ecuatoriano. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) 2018. Boletín Situacional maíz duro seco. Sistema de Información Pública Agropecuaria – SIPA. Quito, Ecuador. Consultado en línea (Noviembre 21 de 2020). Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2018/boletin_situacional_maiz_duro_2018.pdf
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2019). Caracterización general del maíz. Sistema de Información Pública Agropecuaria – SIPA. Quito, Ecuador. Consultado en línea (Noviembre 21 de 2020). Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/maiz/caracterizacion>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2020a). Boletín de Precipitación y Temperatura. Sistema de Información Pública Agropecuaria – SIPA. Quito, Ecuador. Consultado en línea (Noviembre 21 de 2020). Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/nacionales/precipitacion/2020/bolletin_agroclima_2020.pdf
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2020b). Boletín de Agroquímicos y Fertilizantes. Sistema de Información Pública Agropecuaria – SIPA. Quito, Ecuador. Consultado en línea (Noviembre 21 de 2020). Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/nacionales/agroquimicos/2020/bolletin_agroquimicos_2020.pdf
- Magero, E.; Chemining'wa, G.; Kilalo, D. (2018). Effect of macro and micro nutrients on severity of maize lethal necrosis disease and maize grain yield. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology* 5(9): 1 – 11.
- Manuwa, S., Ademosun, O. & Akande, L. (2015). Effect of liquid poultry manure application rate and injection depth on growth and yield of maize (ZeamaysL.) in a sandy loam soil. *AgricEnglnt* 17(1):1 – 9.
- Morris, T.; Murrell, T.; Beegle, D.; Camberato, J.; Ferguson, R.; Grove, J.; Ketterings, Q.; Kyveryga, P.; Laboski, C.; McGrath, J.; Meisinger, J.; Melkonian, J.; Moebius-Clune, B.; Nafziger, E.; Osmond, S.; Sawyer, J.; Scharf, P.; Smith, W.; Spargo, T.; van Es, H.; Yang, H. (2018). Strengths

- and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal* 110(1): 1 – 37.
- Navarro, G. y Navarro, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. Editorial Mundo-Prensa. Madrid, España. 241 p.
- Pérez, R.; Cabrera, E.; Hinostroza, M. (2018). The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(1): 5 – 12.
- Plett, D., Ranathunge, K., Melino, V., Kuya, N., Uga, Y. & Kronzucker, H. (2020). The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. *Journal of Experimental Botany*, 71(15): 4452–4468.
- Research and Markets, (2020). *Global Corn Market Analysis, 2019-2023: Production, Consumption, Exports, Imports and Yield*. Consultado en línea (noviembre 21 de 2020). Disponible en: <https://www.researchandmarkets.com/r/94ldlu>
- Ren, B., Guo, Y., Liu, P., Zhao, B. & Zhang, J. (2021). Effects of Urea-Ammonium Nitrate Solution on Yield, N₂O Emission, and Nitrogen Efficiency of Summer Maize Under Integration of Water and Fertilizer. *Front. Plant Sci.* 12:700331. disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700331>
- Shiferaw, D. (2017). Water-Nutrients Interaction: Exploring the Effects of Water as a Central Role for Availability & Use Efficiency of Nutrients by Shallow Rooted Vegetable Crops - A Review. *Journal of Agriculture and Crops* 3(10): 78-93.
- Steusloff, T.; Singh, G.; Nelson, K.; Motavalli, P. (2019). Enhanced Efficiency Liquid Nitrogen Fertilizer Management for Corn Production. *International Journal of Agronomy* ID 9879273: 1 – 12.
- Subhani, A.; Tariq, M.; Jafar, S.; Latif, R.; Khan, M.; Sajid, M.; Shahid, M. (2012). Role of Soil Moisture in Fertilizer Use Efficiency for Rainfed. A review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 2(11): 1 – 9.
- Thielen, D.; Cevallos, J.; Erazo, T.; Zurita, I.; Figueroa, J.; Velásquez, E.; Matute, N.; Quintero, J. y Puche, M. (2016). Dinámica espacio-temporal de las precipitaciones durante el evento de El Niño 97/98 en la cuenca de Río Portoviejo, Manabí, costa ecuatoriana del Pacífico. *Revista de Climatología* 16: 35 – 50.

- Tauchnitz, N., Bischoff, J., Schrödter, M., Ebert, S. & Meissner, R. (2018). Nitrogen efficiency of strip-till combined with slurry band injection below the maize seeds. *Soil & Tillage Research* 181(2018): 11–18.
- University of Illinois. (2018). The Seven Wonders of the Corn Yield World. Consultado en línea (Noviembre 22 de 2020). Disponible en: http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/research/seven_wonders.html
- Valerio, Juan Manuel, & Molina, Eloy. (2012). Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento del arroz en un ultisol de la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 89-96. Retrieved January 28, 2021, from disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242012000100007&lng=en&tlng=es.
- Van Munster, M. (2020). Impact of Abiotic Stresses on Plant Virus Transmission by Aphids. A review. *Viruses* 12(16): 1 – 12.
- Van Munster, M.; Yvon, M.; Vile, D.; Dader, B.; Fereres, A.; Blanc, D. (2017). Water deficit enhances the transmission of plant viruses by insect vectors. *PLoS ONE* 12(5): e0174398.
- Walsh, O.; Christiaens, R. (2016). Relative Efficacy of Liquid Nitrogen Fertilizers in Dryland Spring Wheat. *International Journal of Agronomy* ID 6850672: 1 – 9.

ANEXOS



Anexo 1: Adecuación, medición y rotulación del terreno.



Anexo 2: Siembra.

ANEXO. MANEJO DEL EXPERIMENTO



Anexo 3: Fertilizantes sólidos y líquidos.



Anexo 4: Aplicación de fertilizantes.



Anexo 5: Toma de datos de cada una de las variables.