

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“BIOCHAR Y FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD  
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)  
EN LAS LOMAS, PIURA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

**INGENIERA AGRÓNOMA**

**KARINA LISETH ARANGO LEDESMA**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación**

**(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“BIOCHAR Y FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD  
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)  
EN LAS LOMAS, PIURA”**

**KARINA LISETH ARANGO LEDESMA**

**Tesis para optar el Título de:**

**INGENIERA AGRÓNOMA**

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

---

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa  
**PRESIDENTE**

---

Ph. D. Julio César Alegre Orihuela  
**ASESOR**

---

Dr. Alberto Marcial Julca Otiniano  
**MIEMBRO**

---

Dr. Sady Javier García Bendezú  
**MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

A Dios,

A mis padres Martha y Alfonso,

a mi familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por sostenerme, por darme paciencia, fuerza y perseverancia para culminar este proceso y mi carrera universitaria.

A mi madre, por confiar en mí y apoyarme en toda mi carrera.

A mi padre, por apoyarme y quien siempre estará en mi corazón, aunque ya no esté físicamente conmigo.

A Brenton Ladd por su apoyo y por financiar este proyecto a través de Innóvate Perú con Convenio N° 188- FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2018 y STC (MINAGRI).

A Evert Thomas, Rachel Atkinson, Fredy Yovera y todo el equipo de Bioversity International por su apoyo y ánimo.

Al Sr. José Armando Delgado Artiaga por permitirnos realizar el ensayo en su campo.

A la Cooperativa NorAndino por su apoyo técnico y sus instalaciones.

A las empresas Inkan Negro, Fertilev, Feys, y Yara por donar los insumos que se aplicaron en este ensayo.

A Sphyros Lastra por su apoyo y por enseñarme R para realizar las gráficas y los análisis estadísticos.

A la Sra. Rosmery Arteaga por su empuje y sus palabras de ánimo.

A todos los que de alguna forma ayudaron en la ejecución del presente trabajo, muchas gracias.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Objetivo general .....	2
1.2.	Objetivos específicos .....	2
II.	REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1.	Origen y distribución geográfica del cacao .....	3
2.2.	El cacao en el Perú .....	5
2.2.1.	Cacao comercial .....	5
2.2.2.	Cacao fino de aroma .....	7
2.2.3.	Producción, rendimiento nacional y exportación .....	7
2.3.	El Cacao en Piura .....	9
2.3.1.	Producción de cacao en Piura .....	9
2.3.2.	Fenología del cacao en Piura .....	10
2.4.	Índices de productividad .....	11
2.4.1.	Índice de semilla (IS) .....	11
2.4.2.	Índice de mazorca (IM) .....	11
2.4.3.	Índice de cosecha (IC) .....	12
2.5.	Exigencias nutricionales del cacao .....	12
2.6.	Paquetes de fertilización .....	13
2.7.	Definición del Biochar .....	13
2.8.	Efectos del biochar en las propiedades del suelo .....	14
2.9.	Efectos del biochar en suelos con déficit de nutrientes .....	15
2.10.	Beneficios de aplicar biochar y fertilización juntos .....	16
III.	METODOLOGÍA .....	18
3.1.	Ubicación del campo experimental .....	18
3.2.	Características del campo .....	18
3.3.	Características del suelo .....	19
3.4.	Factores en estudio .....	19
3.5.	Aplicación de los insumos .....	21
3.5.1.	Biochar .....	21
3.5.2.	Levaduras .....	21
3.5.3.	Humisil .....	22

3.5.4. Fertilización .....	22
3.6. Cronograma de aplicaciones .....	23
3.7. Variables evaluadas previamente.....	23
3.7.1. Parámetros físicos de los granos por mazorca .....	23
3.8. Variables evaluadas .....	24
3.8.1. Producción de mazorcas .....	24
3.8.2. Índices de productividad.....	24
3.8.3. Cosecha real (CR) .....	25
3.9. Medición de factores del campo .....	26
3.9.1. pH del suelo .....	26
3.9.2. Porcentaje de sombra.....	26
3.9.3. Pendiente .....	26
3.10. Diseño experimental.....	26
3.11. Análisis estadístico .....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
4.1. Resultados previos .....	29
4.1.1. Parámetros físicos de los granos por mazorca .....	29
4.2. Resultados.....	31
4.2.1. Producción de mazorcas .....	31
4.3. Índices de productividad .....	34
4.3.1. Índice de semilla (IS) .....	35
4.3.2. Índice de mazorca (IM) .....	36
4.3.3. Índice de cosecha (IC).....	36
4.4. Cosecha real (CR).....	37
4.5. Relación del índice de cosecha y la cosecha real .....	38
4.6. Evaluación del rendimiento.....	39
4.7. Influencia de factores del campo .....	45
V. CONCLUSIONES .....	47
VI. RECOMENDACIONES .....	48
VII. BIBLIOGRAFIA .....	49
VIII. ANEXOS.....	58

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Distribución porcentual de cultivares de cacao según Región, 2012.....	6
<b>Tabla 2:</b> Producción, rendimiento nacional y exportación del año 2010 al 2018 .....	8
<b>Tabla 3:</b> Producción, rendimiento regional de Piura del año 2010 al 2018 .....	9
<b>Tabla 4:</b> Lista de tratamientos y dosis de aplicación usados en este ensayo experimental.	20
<b>Tabla 5:</b> Plan de fertilización para los tratamientos al 100 % de la dosis optima .....	22
<b>Tabla 6:</b> Valores medios de peso fresco, peso seco, número de granos por mazorca y porcentaje de humedad del grano en la parcela .....	29
<b>Tabla 7:</b> Número de mazorcas contabilizadas a los dos meses de fructificación durante a evaluación.....	32
<b>Tabla 8:</b> Número total de mazorcas cosechadas durante la evaluación .....	33
<b>Tabla 9:</b> Número de mazorcas sanas, enfermas y atacadas por ardilla durante la evaluación.....	34
<b>Tabla 10:</b> Promedios de las variables indicadoras de productividad .....	35
<b>Tabla 11:</b> Valores medios del número de mazorcas y la producción en kg por árbol .....	37
<b>Tabla 12:</b> Valores medios del rendimiento por hectárea durante el tiempo de evaluación (75 %), rendimiento estimado anual (100 %) y porcentaje de incremento con respecto al tratamiento testigo.....	40
<b>Tabla 13:</b> Costos (S/.) de los insumos aplicados en este ensayo para cada tratamiento .....	43
<b>Tabla 14:</b> Ganancia neta estimada anual obtenida para cada tratamiento.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo fenológico del cultivo de cacao en Piura .....	10
<b>Figura 2:</b> Ubicación del ensayo en Las Lomas, Piura .....	18
<b>Figura 3:</b> Distribución de los tratamientos en campo .....	21
<b>Figura 4:</b> Aplicación de las dosis altas de biochar en conjunto con los fertilizantes en anillo alrededor del árbol.....	22
<b>Figura 5:</b> Regresión lineal del número de mazorcas del índice de cosecha y la cosecha real.....	38
<b>Figura 6:</b> Comparación del incremento del rendimiento entre los tratamientos de biochar con y sin la aplicación de levaduras.....	41



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> División del campo de acuerdo a la topografía para el análisis de caracterización del suelo .....	59
<b>Anexo 2:</b> Resultado de los análisis de caracterización de suelo.....	60
<b>Anexo 3:</b> Tamaño de mazorca (>9 cm) para realizar el conteo del Índice de cosecha .....	61
<b>Anexo 4:</b> Cartilla de evaluación para cada cosecha durante la campaña .....	61
<b>Anexo 5:</b> Supuestos y análisis de varianza del peso fresco.....	62
<b>Anexo 6:</b> Prueba de comparación de Duncan para la variable peso fresco.....	62
<b>Anexo 7:</b> Supuestos y análisis de varianza del peso seco .....	63
<b>Anexo 8:</b> Prueba de comparación de Duncan para la variable peso seco .....	63
<b>Anexo 9:</b> Supuestos y análisis de varianza del número de granos .....	64
<b>Anexo 10:</b> Supuestos y análisis de varianza para número de mazorcas contabilizadas a inicios de campaña .....	64
<b>Anexo 11:</b> Supuestos y análisis de varianza para número de mazorcas de la cosecha real .....	65
<b>Anexo 12:</b> Prueba de comparación de Duncan para la variable número de mazorcas de la cosecha real .....	65
<b>Anexo 13:</b> Distribución de las mazorcas cosechadas en el 2019 que indica la precisión del índice de cosecha (línea roja) y la cosecha real.....	66
<b>Anexo 14:</b> Supuestos y prueba de Kruskal Wallis del índice de semilla.....	68
<b>Anexo 15:</b> Supuestos y prueba de Kruskal Wallis del índice de mazorca .....	68
<b>Anexo 16:</b> Supuestos y prueba de Kruskal Wallis de los kilogramos por árbol del IC .....	68
<b>Anexo 17:</b> Supuestos y prueba de Kruskal Wallis para la variable número de mazorcas producidas en promedio por árbol de la cosecha real.....	69
<b>Anexo 18:</b> Supuestos y ANOVA de los kilogramos por árbol de la cosecha real.....	69
<b>Anexo 19:</b> Análisis de regresión lineal y correlación de Pearson para las variables número de mazorcas del IC y la CR en el 2019.....	70
<b>Anexo 20:</b> Rendimiento de la parcela de los últimos tres años.....	70
<b>Anexo 21:</b> Modelo lineal generalizado de las variables pendiente, pH y sombra .....	70
<b>Anexo 22:</b> Datos hidrometeorológicos de la zona durante el ensayo .....	71

## RESUMEN

En las últimas décadas, el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región de Piura ha mostrado un descenso, afectando a muchas familias productoras. Por más que posee una calidad reconocida internacionalmente, el cultivo en muchos casos no resulta rentable por su baja producción. Se cree que una de las causas latentes de esto, es el poco porcentaje de productores que implementan la fertilización adecuadamente. En este sentido, el presente estudio se realizó en el distrito de Las Lomas, Piura y consta de 14 tratamientos, basados en biochar, fertilización convencional, levaduras y humisil. Se evaluó los índices del rendimiento y la cosecha real del campo, luego se determinó el grado de correlación entre el índice de cosecha y la cosecha real. Asimismo, se evaluó el aumento del rendimiento con el fin de comparar si la aplicación de biochar y fertilización y/o biofertilización en conjunto expresa un resultado mejor a la aplicación de estos insumos de forma individual. Por último, se evaluaron algunos factores del campo que pudieron influir en el rendimiento. Los resultados mostraron una correlación del 85 % entre el índice de cosecha y la cosecha real. Además, la aplicación del biochar junto a la fertilización evidenció un mayor incremento que los tratamientos con solo biochar pero la fertilización convencional fue similar, no obstante, no hubo diferencias significativas entre tratamientos debido a la variabilidad del campo y el pH, la sombra y el pendiente fue influyente en el rendimiento.

**Palabras clave:** índice de cosecha, rendimiento, levaduras

## **ABSTRACT**

In the last decades, the yield of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Piura region has shown a decrease, affecting many producing families. Although it has an internationally recognized quality, the crop in many cases is not profitable due to its low production. It is believed that one of the latent causes of this is the low percentage of producers that implement fertilization properly. In this sense, the present study was carried out in the district of Las Lomas, Piura and consists of 14 treatments, based on biochar, conventional fertilization, yeasts and humisil. The yield indices and the actual harvest of the field were evaluated, then the degree of correlation between the harvest index and the actual harvest was determined. Likewise, the increase in yield was evaluated in order to compare whether the application of biochar and fertilization and / or biofertilization together expresses a better result than the application of these inputs individually. Finally, some factors of the field that could influence the performance were evaluated. The results showed an 85% correlation between the harvest index and the actual harvest. In addition, the application of biochar together with fertilization showed a greater increase than the treatments with only biochar but conventional fertilization was similar, however, there were no significant differences between treatments due to the variability of the field.

**Keywords:** harvest index, yield, yeasts

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo con una alta demanda en el mercado mundial (Morales *et al.* 2015). Existe una gran diversidad de cultivares de cacao, sobresaliendo el cacao fino de aroma que representa entre el cinco y el ocho por ciento de la producción mundial, reconocido principalmente en Latinoamérica (Armando, 2016). El Perú posee una alta diversidad genética de cacao (Thomas *et al.*, 2012). Piura, en la costa norte del país, cuenta con un tipo de cacao conocido como: “cacao blanco piurano”, considerado como fino de aroma, el cual fue seleccionado entre los 50 mejores del mundo (ICA, 2015).

En el año 2014, la Unión Europea (UE) estableció límites en el contenido de cadmio en los chocolates razón por la cual los productores cacaoteros se vieron afectados con énfasis en la región de Piura, es así que fue necesario la aplicación de enmiendas para reducir las concentraciones de cadmio no obstante a la vez se buscó que estas favorecieran el rendimiento para suplir los costos de los insumos aplicados.

Asimismo, desde el año 2010, la productividad en esta región ha mostrado una tendencia decreciente, es así que, en el 2018, Piura mostro un rendimiento de 456 kg/ha el cual fue muy bajo comparado al rendimiento nacional de 827 kg/ha (SEPA, 2018). Esta baja productividad puede deberse a que el 24 % de los productores de cacao usan abonos y solo el 20 % aplican fertilizantes, entre las razones del porque los agricultores no fertilizaron se determinó que el 55 % no lo hizo por el alto costo, según manifiesta el análisis de la cadena productiva del cacao (MINAGRI, 2018).

Por otra parte, ante la incertidumbre de desconocer si la producción será buena o no por parte del agricultor, a fin de planificar acciones futuras, se propone el uso del índice de cosecha, el cual es un estimador de la producción del cultivo recomendado por el CATIE de Nicaragua, este índice permitirá conocer las pérdidas que les ocasionan las plagas, enfermedades y otros factores del campo.

Por otro lado, una enmienda con mucho potencial para el buen desarrollo de las plantas, es el biochar. Es así que, Chan *et al.* (2007) y Trupiano *et al.* (2017), mencionan que el biochar favorece la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y carbono para la planta. Otros estudios aseguran que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que conlleva a un buen crecimiento y expansión radicular, favoreciendo con esto la absorción de nutrientes y agua (Mukherjee y Lal, 2014; Coumaravel *et al.*, 2015; Biederman y Harpole, 2013).

Diversos autores mencionan además que esta enmienda en conjunto con la fertilización convencional mejora el rendimiento, de tal forma que Hamdani *et al.* (2017), Major *et al.* (2010) y Zhang *et al.* (2016), concluyeron que esta aplicación en conjunto disminuyó la pérdida del fertilizante por la capacidad de adsorción que posee. Asimismo, se ha encontrado una buena relación entre el biochar y la biofertilización ya que se sugiere que los microporos del biochar permiten el establecimiento de colonias microbianas e incluso incrementan el hábitat de estos microorganismos (Lenhann, 2006). Por último, Nakayan *et al.* (2012) trabajo con el género de las levaduras, que se utiliza en este estudio, junto a una fertilización convencional y encontró que mejoró el peso seco influyendo positivamente en el rendimiento.

Por lo expuesto, el presente trabajo se efectuó en el distrito de Las Lomas, Piura, con el objetivo de determinar la efectividad de la aplicación del biochar, la fertilización y la biofertilización sobre la productividad del cultivo de cacao a través del uso de los índices de productividad en Las Lomas, Piura.

### **1.1. Objetivo general**

- Determinar la efectividad de la aplicación del biochar, la fertilización y la biofertilización sobre la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través del uso de los índices de productividad en Las Lomas, Piura.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del biochar, la fertilización convencional y la biofertilización en los índices del rendimiento.
- Evaluar la relación del índice de cosecha con la cosecha real a fin de constatar si este índice es un estimador confiable del rendimiento en campo.
- Evaluar si el aumento del rendimiento de los tratamientos en los que se aplicó biochar más fertilizante y/o biofertilizante, es mayor a la aplicación individual de estos insumos.
- Evaluar la influencia de los factores del campo que influyeron en el rendimiento de los tratamientos del ensayo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen y distribución geográfica del cacao

Diversos autores coinciden en que el centro de diversidad genética del cacao se ubica en las regiones del alto Amazonas las cuales limitan con Perú, Brasil, Colombia y Ecuador (Motamayor *et al.*, 2002; Sereno *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006, citados por Thomas *et al.*, 2012).

Hace décadas se conocían dos grupos principales en cacao, el “Criollo” y “Forastero”, estos se habían definido basándose en rasgos morfológicos y orígenes geográficos, un tercer grupo reconocido es el “Trinitario” el cual es un híbrido producto del cruce de “Criollo” x “Forastero” (Chessman, 1944 citado por Motamayor, 2008), sin embargo, otros autores opinan que el “Criollo” y el “Trinitario” deben considerarse como cultivares tradicionales en lugar de grupos genéticos (Motamayor *et al.*, 2002 citado por Motamayor, 2008). Además, también se han descrito dos cultivares tradicionales: Nacional y Amelonado (Motamayor *et al.*, 2003 citado por Motamayor, 2008).

Motamayor *et al.* (2008), realizaron un estudio en el que se trabajó con 1241 individuos de diferentes orígenes geográficos, los cuales fueron genotipados con 106 marcadores de microsatélites. A partir de esto, se identificaron diez grupos con la probabilidad estimada más alta y se nombraron de acuerdo con la ubicación geográfica o el cultivar tradicional más representado en ese grupo. Estos son: Marañón, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional y Guayana. Esta clasificación mantiene los términos utilizados para identificar a los cultivares tradicionales Amelonado, Criollo y Nacional y separa las poblaciones altamente diferenciadas dentro de la cual se clasificó anteriormente al grupo genético Forastero.

Adicionalmente se encontró que únicamente los individuos del grupo Criollo se encuentran en los bosques primarios centroamericanos (México y Panamá), mientras que los 10 grupos, incluyendo el Criollo, están representados en los bosques sudamericanos.

Asimismo, Thomas *et al.* (2012), realizaron un análisis espacial de la diversidad intraespecífica del cacao en América Latina, con 939 árboles de cacao caracterizados genotípicamente. Es así como evaluaron los patrones de diversidad genética y encontraron los niveles más altos en las áreas del Alto Amazonas desde el sur del Perú hasta el Amazonas ecuatoriano y el área fronteriza entre Colombia, Perú y Brasil. Asimismo, según los resultados de este estudio, el cacao ya estaba distribuido en la amazonia occidental antes del inicio de la glaciación, por esto se dificultó identificar el verdadero centro de origen, y durante esta etapa, las poblaciones de cacao se restringieron a varios refugios donde probablemente pasaron por una diferenciación genética, lo que condujo a una serie de grupos genéticos representativos o cercanos a las poblaciones de cacao silvestre original.

Además, en esta investigación se identificaron 10 grupos genéticos de los cuales cuatro probablemente estén más relacionados con las poblaciones silvestres originales, esto se concluyó a partir de los valores de los parámetros genéticos obtenidos para los 10 grupos. Asimismo, estos son: el grupo seis (Nacional + Contamana (+Purus)), grupo ocho (Iquitos (+Purus)), grupo 10 (Curacay) y el grupo uno (Purus) (Thomas *et al.*, 2012). Estos autores hipotetizan que el origen del grupo seis (Nacional + Contamana (+Purus)) podría estar ubicado en la parte sur del Perú amazónico en donde se encontraron los niveles más altos en los parámetros genéticos de este estudio, asimismo éste se extendió por la costa del Pacífico ecuatoriano por lo que se sospecha que podría haber sido el acervo genético original del cultivo Nacional (Thomas *et al.*, 2012).

El origen del grupo ocho (Iquitos (+ Purus)) pudo haber estar ubicado en la región superior del Amazonas en el noroeste de Brasil, mientras que el grupo 10 (Curacay) está restringido al Ecuador amazónico. En este punto es interesante observar que los primeros grupos mencionados ocurrieron en la Amazonia ecuatoriana y peruana respectivamente, mientras que el grupo 10 se restringe a la Amazonia ecuatoriana, esto podría sugerir que el material se distribuyó desde Perú hasta Ecuador lo que serviría como un argumento en contra del origen ecuatoriano del cacao como especie en este país. El grupo uno (Purus), obtuvo valores notables en los valores de los parámetros genéticos, su origen podría estar ubicado en el estado brasileño de Acre. Este grupo sobresale en un área donde se observaron los niveles más altos de parámetros genéticos, además que esta alta diversidad genética es paralela a una alta diversidad fenotípica de varios caracteres morfológicos, moleculares y agronómicos observados en dicha región (Thomas *et al.*, 2012).

## **2.2. El cacao en el Perú**

### **2.2.1. Cacao comercial**

La producción mundial de cacao convencional fue de 4.7 millones de toneladas en promedio entre los años 2015 y 2016. De este total, más del 70 % lo produce África, 8 % Asia y Oceanía y poco más del 15 % América Latina (MINAGRI, 2018).

El cacao es el sexto cultivo más importante a nivel nacional, en términos de número de productores, y superficie cosechada, ya que más de 138 mil productores tienen instalado este cultivo de los cuales más de 111 mil cosecharon en la campaña 2015/2016, según la Estadística Nacional Agropecuaria (ENA), (2016), la cual no considera la superficie de las Comunidades campesinas ni comunidades nativas. El 67.6 % de los productores en el Perú no supera las 10 hectáreas lo que quiere decir que las dos terceras partes son pequeños o medianos productores (MINAGRI, 2018). El cacao tiene una influencia en el ámbito social debido a que la producción es realizada principalmente en los campos de pequeños agricultores, los cuales reciben apoyo de instituciones públicas y privadas, de este modo mejoran su calidad de vida (Barrientos, 2015). Asimismo, es importante mencionar que este cultivo genera alrededor de 10 millones de jornales al año.

Según el MINAGRI (2018), la superficie instalada de cacao en nuestro país ha pasado de 143 mil a 199 mil hectáreas del 2012 al 2016. Siendo la región de San Martín la que posee una mayor extensión con 59 016 hectáreas. Asimismo, entre estos años se registró un incremento de 12 mil ha en San Martín y Huánuco, 10 mil ha en Ucayali, mientras que en Amazonas y Cajamarca disminuyó.

Por otro lado, el cacao contribuye con el 3 % del valor bruto de la producción agrícola y permite el ingreso de divisas por 253 millones de dólares en exportaciones (MINAGRI, 2018).

Cabe resaltar que la importancia económica del cacao también abarca la producción de derivados como manteca de cacao, pasta de cacao, cacao en polvo entre otros productos industriales como el chocolate. De esta manera, viene creciendo la producción y productividad en términos de procesos de conservación y transformación, es así que existe una mayor valorización de atributos intangibles tales como los sellos de producción orgánica, a favor del medio ambiente, de identidad territorial y comercio justo (MINAGRI, 2018).



De acuerdo al catálogo de cultivares del Perú, más de la mitad de la superficie instalada corresponde al cultivar CCN-51 en el país, distribuida principalmente en San Martín (57 %), Cusco (18 %), Junín (7 %), entre otros (MINAGRI, 2018). Sin embargo, Perú también produce cacao nativo o criollo, que muchas veces son menos productivos, pero con sabores y aromas distintos (García, (2010), citado por MINAGRI (2018)).

**Tabla 1: Distribución porcentual de cultivares de cacao según Región, 2012**

	"Criollo" + nativo		CCN-51		Trinitario + forastero	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
<b>Total</b>	<b>37.12</b>	<b>43.80</b>	<b>45.45</b>	<b>53.60</b>	<b>1.86</b>	<b>2.20</b>
Amazonas	4.46	70.00	1 593	25.00	200.00	3.10
Ayacucho	6.15	70.00	2 460	28.00	176.00	2.00
Cajamarca	1.09	90.00	110.00	9.10	12.00	1.00
Cusco	13.04	60.00	8 261	38.00	435.00	2.00
Huánuco	1.89	45.00	2 100	50.00	210.00	5.00
Junín	6.08	65.00	3 087	33.00	187.00	2.00
La Libertad	45.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lambayeque	30.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Loreto	65.00	20.10	256.00	79.00	3.00	0.90
Madre de Dios	51.00	89.50	5.00	8.80	1.00	1,1
Pasco	598.00	84.90	99.00	14.10	7.00	1.00
Piura	400.00	98.00	4.00	1.00	4.00	1.00
Puno	105.00	85.40	17.00	13.80	1.00	0.80
San Martín	2.32	8.00	26.09	90.00	580.00	2.00
Tumbes	328.00	95.10	14.00	4.10	3.00	0.90
Ucayali	464.00	25.00	1.35	73.00	37.00	2.00

*Nota:* Adaptado de MINAGRI (2018).

### **2.2.2. Cacao fino de aroma**

El mayor productor y exportador de cacao fino de aroma es América Latina, la cual es responsable del 81 % de la exportación mundial del cacao fino de aroma, con un total de 197 173 toneladas exportadas, Asia y Oceanía alcanzan el 15 % (36 789 toneladas) y África el 4 % (9 341 toneladas) en el periodo 2011 a 2014 (Vignati, 2017). Los países productores con mayor presencia son Ecuador, República Dominicana, Perú, Venezuela y Colombia según la (ICCO, 2015 citado por Gómez-García, 2016). El cacao fino de aroma se encuentra dentro del grupo de los cacaos criollos o nativos (Castro, 2018).

La alta diversidad genética de cacao en el Perú le ha permitido posicionarse en el mercado como principal proveedor de las variedades *prime* de cacao (Gómez-García, 2016), y se encuentran instalados en el 44 % de la superficie restante (Armando, 2016). El cacao fino tiene un mayor nivel de crecimiento comparado a los otros tipos de cacao siendo de 9 % anual, este crecimiento es un 200 % superior al cacao genérico (Gómez-García, 2016).

Asimismo, es importante destacar el valor y el precio preferencial del cacao fino en los mercados mundiales, mientras que una tonelada de cacao genérico o genéticamente modificado tiene un valor promedio entre 3 100 – 3 500 USD/t; el cacao fino y de aroma, nativo de América Latina, tiene un valor que puede variar entre los USD 3 500 a USD 10 000/t (Gómez-García, 2016).

### **2.2.3. Producción, rendimiento nacional y exportación**

La producción nacional mostro una tendencia positiva de acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 2, en el periodo del 2010 al 2018, de la misma manera sucedió con el rendimiento nacional. Los datos de la exportación nacional nos permiten observar que ésta se fue incrementando hasta el 2017 donde tuvo un pequeño descenso ese año, sin embargo, la exportación se mantuvo arriba de las 50 mil t de cacao.

**Tabla 2: Producción, rendimiento nacional y exportación del año 2010 al 2018**

Año	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)	Exportación (t)
2010	46 613	604	11 084
2011	56 499	671	19 727
2012	62 492	683	24 939
2013	71 838	736	30 212
2014	81 651	766	46 991
2015	92 592	769	56 529
2016	107 922	859	57 214
2017	121 814	827	53 258
2018	134 676	827	54 530

*Nota:* Elaborado con base en SEPA 2018; MINAGRI 2018; AGRODATAPERU 2018,2019.

Las principales regiones productoras de cacao en grano hasta el 2015 son las regiones de San Martín con el 42 %; Junín con el 18 %, Ucayali con 11 % y Huánuco con 8 %. Éstas representan el 79 % de toda la producción nacional. Otras zonas productoras también son Cusco, Ayacucho, Amazonas, Cajamarca, Tumbes, Loreto, Puno y Madre de Dios.

En cuanto al rendimiento promedio por región, en el 2017 fue de 827 kg/ha. Entre las regiones que sobresalen se encuentra la región de Junín con 1 192 kg/ha y La Libertad con 1 161 kg/ha, aunque esto se contrasta con su participación en la producción a nivel nacional. Entre los rendimientos de las regiones con mayor producción tenemos a San Martín con 950 kg/ha; Junín, Ucayali con 781 kg/ha; Huánuco con 639 kg/ha, mientras que Cusco y Piura presenta unos de los más bajos rendimientos con 412 y 456 kg/ha respectivamente (MINAGRI, 2018).

El envío de cacao y sus derivados al exterior sumo más de US\$ 242 millones entre enero y noviembre del 2018, presentando una variación positiva del 13 % en comparación al mismo periodo del 2017 cuando alcanzó alrededor de US\$ 213 millones 967 mil, informó la Asociación de Exportadores (ADEX, 2019).

Según cifras del Sistema de Inteligencia Comercial ADEX Data Trade, el mercado que más demandó el cacao peruano y sus derivados fue EE.UU. (US\$ 45 millones 152 mil), el cual concentró el 19 % de estos envíos. Asimismo, Países Bajos (US\$ 43 millones 153 mil) logró una participación de 18 %. Otros países fueron Bélgica, Alemania, Malasia, Italia, Indonesia, España, México, Francia, entre otros (ADEX, 2019).

## 2.3. El Cacao en Piura

El cacao piurano se le reconoce por ser de la variedad criolla blanca, porcelana o actualmente también llamada como nativa por haberse identificado atributos particulares pertenecientes a cacaos cultivados solo en la región de Piura, de hecho, García (2010), en el catálogo de cultivares del Perú ubica al cacao blanco Piurano dentro de los cultivares nativos.

### 2.3.1. Producción de cacao en Piura

Analizando la producción de esta región observamos una tendencia positiva hasta el año 2015, luego del cual se aprecia una disminución hacia el año 2017. En cuanto al rendimiento se observa unos datos muy variables con picos altos y bajos constantemente.

**Tabla 3: Producción, rendimiento regional de Piura del año 2010 al 2018**

Año	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
2010	189	543
2011	258	632
2012	594	612
2013	546	471
2014	644	552
2015	768	592
2016	658	499
2017	599	456
2018	1009	456

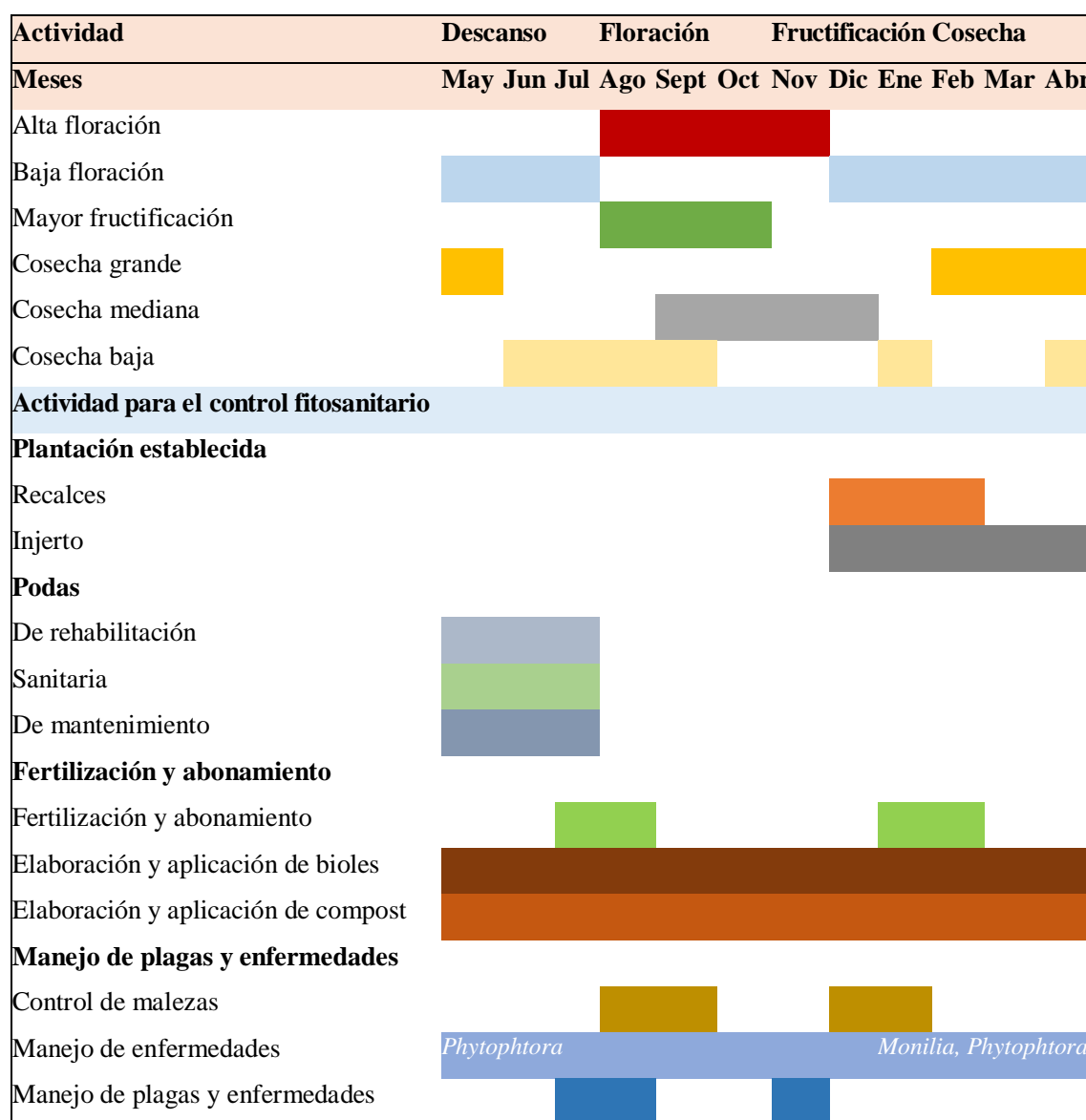
*Nota:* Elaborado con base en SEPA 2018.

Cabe señalar que, Piura es el único departamento que produce el cacao blanco, siendo cerca del 50 % del total de su producción. La producción de cacao blanco en Piura es de aproximadamente 450 toneladas y se produce en una extensión de 120 hectáreas. Además, conviene señalar que este cultivar es de escasa producción mundial y es por esto que se le otorga un mayor valor por los chocolateros en el mercado internacional (APPROCAP, 2019).

La asociación de pequeños productores de cacao de Piura (APPROCAP), es una organización que está conformada por 181 hombres y 35 mujeres dedicados a la comercialización del cacao blanco y criollo fino de aroma, en una extensión de 263 hectáreas aproximadamente (APPROCAP, 2019).

Sin embargo, la Cooperativa Agraria Norandino es la más representativa de la Región, extendiéndose por seis regiones Piura, Tumbes, Amazonas, Cajamarca, Lambayeque y San Martín. Cuenta con más de 900 productores cacaoteros, estos tienen un rendimiento promedio de 600 kg/ha y las variedades predominantes que producen son el cacao blanco y el criollo.

### 2.3.2. Fenología del cacao en Piura



Nota: Reproducido de Equipo técnico Proyecto Norte Emprendedor - SWISSCONTAC, equipo técnico CEPICAFE; 2012:13.

**Figura 1:** Ciclo fenológico del cultivo de cacao en Piura

## 2.4. Índices de productividad

Los índices de productividad permiten establecer una valoración numérica de la capacidad productiva de los campos. Se espera que estos índices se puedan utilizar como potenciales predictores del rendimiento (Tasi *et al.*, 2010).

Estos índices son específicos para cada cultivo, es así que, para cacao se establecen tres, el índice de semilla, de mazorca y de cosecha. A partir de esto, diversas instituciones como el CATIE de Nicaragua, la Federación nacional de cacaoteros de Colombia entre otros ensayan metodologías para hallar estos índices y de esta manera predecir el rendimiento del campo, así como conocer su potencial.

### 2.4.1. Índice de semilla (IS)

Es un índice que nos permite analizar el peso en gramos de semillas secas como un factor de rendimiento. El método para hallarlo depende de cada investigador, pero se ajusta a tomar el peso de una muestra de semillas y dividirla entre el número de semillas que la contienen. Algunos estudios toman el peso de 100 semillas secas dividido entre 100 (Ayestas, 2009), otros toman solo 30 semillas entre 30 (García, 2010), Vera Chang *et al.* (2015) trabajaron con 300 semillas y Quintana Fuentes *et al.* (2015) trabajaron con cuatro grupos de 100 semillas. Para nuestros fines se utilizó la siguiente fórmula:

$$IS (g) = \frac{\text{Peso seco total de granos por mazorca}}{\text{número de granos por mazorca}}$$

### 2.4.2. Índice de mazorca (IM)

El índice de mazorca es el número de mazorcas que se necesitan para obtener 1 kg de grano seco. FEDECACAO (2005); Ayestas (2009) utilizan la siguiente fórmula:

$$IM = \frac{1000}{IS * NG}$$

Por otro lado, Quintana Fuentes *et al.* (2015) tomó el peso seco de 20 mazorcas y a partir de esto obtuvo el número de mazorcas que se necesitan para un kilogramo de grano seco, Vera Chang *et al.* (2015), utilizó este mismo método. Para este ensayo se utilizó la fórmula expresada líneas arriba.

### **2.4.3. Índice de cosecha (IC)**

Es un índice que te permite estimar la cosecha usando el índice de mazorca (IM), que es el número de mazorcas necesarias para un kilogramo de grano seco para convertir el número de mazorcas en volumen de grano seco. Antes de comenzar la cosecha, se deben contar todas las mazorcas equivalentes a dos o tres meses de edad, a fin de que hayan pasado la etapa de marchitez fisiológica. Se divide el número total de mazorcas de la cosecha por el IM y de esta forma estimaremos cuál será la cosecha que obtendremos.

Sin embargo, cabe destacar que este método depende de la correcta estimación del IM de la zona ya que es muy variable de acuerdo al genotipo y el ciclo de la cosecha (CATIE Nicaragua).

El método aplicado en este estudio, no es muy aplicado en cacao debido a que es un cultivo que produce frutos normalmente todo el año y este método se utiliza más en cultivos con una temporada de cosecha específica, no obstante, se caracteriza por presentar campañas marcadas de acuerdo a la región (ver las épocas de cosecha en el punto 2.3.2) razón por la que se desea investigar la efectividad de este índice en su cosecha grande.

### **2.5. Exigencias nutricionales del cacao**

Antes de realizar cualquier aplicación de fertilizantes al suelo, es importante mencionar que es necesario muestrear el campo y hacer un análisis de suelo a fin de saber sus condiciones nutricionales. Para determinar la dosis de fertilización se debe tener en cuenta el nivel de nutrientes que posee el suelo, la cantidad de nutrientes extraídos por el cultivo y la eficiencia del riego (Guerrero, 2012) ya que el agua interviene en la movilización de los elementos y en su solubilidad para ser absorbido.

Según Guerrero (2012), para tener una idea de la cantidad de nutrientes necesarios para obtener un rendimiento promedio de 1000 kg de grano/ha, se muestra a continuación la secuencia de nutrientes extraídos de mayor a menor cantidad expresados en kg/ha: K (50) > N (35) > Mg (15) > Ca (13) > P (10).

En Costa Rica se evaluó la extracción de nutrientes por los frutos de cacao y se obtuvo los siguientes resultados, de una tonelada de semilla seca, incluyendo la cáscara del fruto, se extraen entre 33.45 a 37.80 kg de N, entre 40.35 y 50.64 kg de K y entre 7.33 a 8.37 kg de

P. El orden de extracción de los nutrientes fue: K>N>P>Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>B=Cu (Furcal-Beriguete, 2017).

## **2.6. Paquetes de fertilización**

La mayoría de los productores de cacao son pequeños agricultores, y es debido a esto que muchos de ellos no tienen el conocimiento ni los recursos económicos para fertilizar, y esto lo refleja el análisis de la cadena productiva del cacao realizado por el MINAGRI (2018) en el que solo el 23.9 % de los productores de cacao usan abonos y el 19.8 % aplican fertilizantes. Entre las razones del porque no fertilizaron se determinó que el 54.8 % no lo hizo por el alto costo. Es por esto que diversas instituciones públicas buscan facilitar el acceso al conocimiento del manejo de campo y a insumos como fertilizantes, mientras que por otro lado algunas empresas privadas han desarrollado paquetes de fertilización (Yara Perú) o productos específicos (Inkan Negro, Feys, Fertilev) como los usados en este estudio para probar su efectividad en campo.

## **2.7. Definición del Biochar**

La International Biochar Initiative o IBI (2012) en su “*Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is Used in Soil*”, define al biocarbón como un material sólido obtenido a partir de la conversión termoquímica de la biomasa en un ambiente con escasez de oxígeno. Está constituido por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la materia prima (Lehmann, 2007). Posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos, cuyos tamaños van de < 2 nm, 2-50 nm y > 50 nm, respectivamente por lo cual lo han comparado con un “arrecife subterráneo” que puede ser hábitat para microorganismos (Rouquerol *et al.*, 1999; Downie *et al.*, 2009).

El proceso de producción de biochar consiste principalmente en una pirolisis lenta, carbonización hidrotérmica, carbonización instantánea y gasificación (Tan *et al.*, 2015). El biocarbon es un producto factible de ser obtenido solo donde hay suficiente biomasa disponible, tal es el caso de los subproductos de actividades agroforestales o residuos orgánicos urbanos, que pueden ser usados como materia prima (Escalante *et al.*, 2015).

El biochar se puede usar como un producto en sí mismo o como un ingrediente dentro de un producto mezclado, con una gama de aplicaciones como agente para la mejora del suelo, la



mejora en la eficiencia del uso de los recursos, la remediación y / o la protección contra la contaminación ambiental particular, y como una vía para la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) (IBI, 2012).

## **2.8. Efectos del biochar en las propiedades del suelo**

El biochar producido a partir de la pirolisis de la biomasa incrementar la nitrificación en el suelo (DeLuca *et al.*, 2006), disminuir las emisiones de N gaseoso (Yanai *et al.*, 2007), alterar la disponibilidad de nutrientes del suelo (Chan *et al.*, 2007), reducir la lixiviación de nutrientes (Zheng *et al.*, 2013), aumentar el pH, mejorar el secuestro de carbono (Acosta *et al.*, 2014).

En términos de propiedades físicas del suelo, la aplicación de biochar disminuye la densidad aparente del suelo (Acosta *et al.*, 2014), aumenta la estabilidad del agregado del suelo y la capacidad de retención de agua al mejorar las características de los poros del suelo. La textura y el tipo de suelo también tienen un papel fundamental. Por ejemplo, los beneficios de la enmienda de biochar son más pronunciados en un suelo de textura gruesa que en un suelo de textura fina, y los suelos arenosos son más sensibles ya que se agregan con mayor facilidad que los suelos ricos en arcilla (Blanco-Canqui, 2017).

La concentración de biochar también afecta la capacidad de retención de agua del suelo. Un estudio experimental realizado por Kameyama *et al.* (2016), mostraron que concentraciones de biochar superiores al 3 % podían aumentar la capacidad de retención de agua de los suelos arcillosos en un 60 %. Sin embargo, la concentración óptima de biochar debe determinarse caso por caso (Kavitha *et al.*, 2018). Además, de los beneficios descritos anteriormente, el biochar también afecta otras propiedades físicas del suelo, como la hinchazón / contracción, la resistencia a la tracción, el área de la superficie y la densidad de agrietamiento (Zong *et al.*, 2014).

Un estudio corroboró en campo la permanencia del biochar, el cual no se perdió dos años después de su aplicación, manteniendo en el tiempo la materia orgánica que se había ganado y favoreciendo el secuestro de carbono y la disponibilidad de nutrientes. En relación a los macronutrientes, el biochar provocó el aumento del fósforo, magnesio y el calcio (Acosta *et al.*, 2014).

Por otro lado, se ha demostrado que la aplicación de los biochares a los suelos ácidos mejora la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas. La aplicación de dos biochares derivados de un molino de papel a un ferrosol a 10 t/ha incrementó el pH de 4.2 a 5.4 y 5.9, respectivamente, y también la capacidad de intercambio catiónico del suelo y el Ca intercambiable; y los pesos secos de rábano, soja y trigo aumentaron significativamente (Van Zwieten *et al.*, 2009). El pH mediado por el biochar y la reducción de Al aumentará la biodisponibilidad de P, Ca y Mg, lo que dará como resultado un suministro equilibrado de nutrientes en la rizosfera, lo que mejorará el crecimiento de las plantas (Haowei *et al.*, 2019).

Asimismo, la aplicación conjunta de biochar con compost mejoró las propiedades del suelo e incrementó el crecimiento del maíz en dos oportunidades de cultivo y cosecha (Nuretal, 2014). La mayor eficiencia en el uso de nutrientes se relacionó con la mejora de la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la materia orgánica que retuvo los nutrientes y redujo la lixiviación de nutrientes (Haowei *et al.*, 2019).

## **2.9. Efectos del biochar en suelos con déficit de nutrientes**

Las plantas que crecen en suelos con una deficiencia de nutrientes exhibirán síntomas de deficiencia fisiológica y morfológica. Los efectos varían desde el cese inmediato del crecimiento de la raíz o la ruptura masiva de membranas o paredes celulares hasta pequeños cambios en el pH del citosol, la reducción de la exportación de carbohidratos o la incapacidad de una enzima para alinearse correctamente con un reactivo. Sin embargo, cada uno de estos puede provocar estrés oxidativo (fotoinhibición y fotooxidación), la destrucción definitiva de los cloroplastos y los síntomas que reconocemos como clorosis y necrosis (Hodges y Constable, 2010).

Se ha demostrado que la enmienda de los biochares a los suelos deficientes en nutrientes mejora el crecimiento de las plantas, incluido el maíz (Uzoma *et al.*, 2011), el frijol común (Rondon *et al.*, 2007), la avena (Schulz y Glaser, 2012), y lechuga (Gunes *et al.*, 2014). La mejora en el crecimiento de las plantas podría atribuirse a los siguientes tres factores: 1) nutrientes proporcionados por los biochares; 2) uso eficiente de nutrientes; y 3) ambiente favorable de la rizósfera. Los biochares contienen nutrientes minerales que incluyen N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn y B.

El contenido de los elementos varía según las materias primas y los métodos y procesos de carbonización. En general, la baja temperatura de pirólisis (250 - 300 ° C) es mejor para

enmendar el suelo, ya que se podría mantener más elementos nutritivos. Gunes *et al.* (2015), mencionan que las plantas de lechuga y maíz cultivadas en un suelo franco arcilloso enmendado con biocharres tenían pesos secos significativamente mayores que el control no modificado. El aumento de peso seco se asoció con un mayor contenido de P y K en ambas plantas en comparación con el control, mientras que los contenidos de tejido de Ca, Mg, Fe, Mn y B en plantas de lechuga disminuyeron, el Zn en maíz aumento por los tratamientos de biochar.

Los contenidos variables de Ca, Mg, Fe, Mn, B y Zn en diferentes plantas pueden sugerir que los biocharres podrían servir como un reservorio para regular las necesidades de la planta de nutrientes particulares. Como se mencionó anteriormente, la aplicación de biochar en suelos problemáticos puede mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Las raíces de las plantas pueden liberar compuestos orgánicos que soportan los microbios del suelo y con esto las interacciones entre las raíces de las plantas, los suelos enmendados con biochar y los microbios crearían una rizósfera saludable para el crecimiento de las plantas (Haowei *et al.*, 2019).

## **2.10. Beneficios de aplicar biochar y fertilización juntos**

El aumento de la eficiencia en el uso de fertilizantes puede ser un método útil para mejorar el rendimiento de los cultivos (Escalante *et al.*, 2015). Chan *et al.* (2007), encontró que la aplicación de biochar en ausencia de fertilizante nitrogenado no aumentaba el rendimiento, pero con la aplicación de fertilizante y biochar en conjunto se incrementó evidentemente, lo que indica que el biochar podría mejorar eficientemente la utilización de nitrógeno en las plantas.

Además, investigaciones han demostrado que el biochar aumenta el rendimiento de grano de maíz en un 28 % y la disponibilidad de Mg, K y P del 17 al 600 % en un campo modificado con biochar (Major *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2016), mencionan que se obtuvo un 12.9 % más de producción cuando utilizo biochar en conjunto con una fertilización convencional y sugirieron que el biochar mejoro la disponibilidad de los elementos nutritivos en el suelo aportados por los fertilizantes.

Asimismo, Hamdani *et al.* (2017), registraron hasta 33 % mayor altura de planta cuando aplicaron biochar y fertilizantes en relación al control; ellos asumen que el biochar disminuye la pérdida de los fertilizantes aplicados, debido a su capacidad de adsorción

Hamdani *et al.* (2017). Trupiano *et al.* (2017), reportaron que la actividad de las enzimas relacionadas con los ciclos del N, P y C resultaron mejoradas con la aplicación de este material; esa práctica favoreció la disponibilidad de estos elementos para las plantas y mantuvo disponible más humedad en el suelo. Por lo tanto, se considera que el biochar tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes para plantas, al aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Ubicación del campo experimental

El campo utilizado pertenece al señor José Armando Delgado Artiaga, socio de la Cooperativa Norandino. Se encuentra ubicado en el centro poblado el Partidor, distrito Las Lomas, provincia de Piura, Región de Piura, siendo sus coordenadas  $4^{\circ} 45' 25''$  de latitud y  $80^{\circ} 18' 54''$  de longitud a una altitud de 200 msnm con una precipitación de 10 a 200 mm/año.

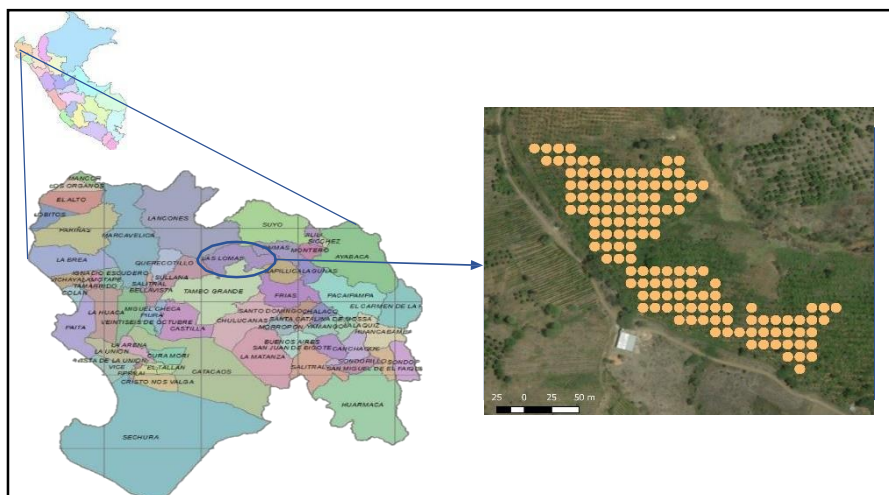


Figura 2: Ubicación del ensayo en Las Lomas, Piura

#### 3.2. Características del campo

El área experimental posee una extensión de dos hectáreas y cuenta con un cacaotal de aproximadamente 10 años, en un sistema agroforestal con árboles frutales como el plátano (*Musa paradisiaca* L.), carambola (*Averrhoa carambola*), cítricos y especies forestales como el cedro (*Cedrela odorata* L.). El sistema de riego que se utiliza es por gravedad a través de surcos.

### **3.3. Características del suelo**

Se realizó cinco análisis de caracterización del suelo del campo estudiado antes de la aplicación de los tratamientos a fin de conocer su estado nutricional y sus características físicas y químicas. Estos análisis se realizaron según la topografía del terreno. En el Anexo 1, se puede apreciar la clasificación que se hizo agrupando las unidades experimentales de la zona plana, los extremos y la parte central del campo la cual presentaba mayor pendiente.

En general se muestra que en el campo predomina una textura franco arcillosa (Fr.Ar), pH moderadamente ácido (5.6 - 6.0), muy ligeramente salina (< 2 dS/m), bajo contenido de materia orgánica (< 2 %), nivel alto de P disponible (>14 ppm), nivel medio de K disponible (100 - 240 ppm), CIC medio (20 - 35 ppm) y porcentaje de saturación de bases alto (100 %). Para mayor detalle ver Anexo 2.

### **3.4. Factores en estudio**

Los insumos que se utilizaron en este campo fueron:

- a. Biochar: Es un carbón obtenido a base estiércoles y material vegetal (restos de podas de árboles urbanos) a través de un proceso de pirólisis con ausencia de oxígeno de temperatura alrededor de 400°C.
- b. Levaduras: producto comercial del género *Meyerozyma* sp. y *Yarrowia* sp.
- c. Humisil: producto comercial que contiene 70 % de silicio más ácidos fúlvicos.
- d. Paquete de fertilización convencional.

En la Tabla 4, se encontrará las dosis aplicadas, así como los detalles de la fertilización convencional. La razón de la utilización de estos insumos fue debido a que este ensayo fue establecido para buscar reducir el contenido de cadmio en los suelos ya que esta región presenta las concentraciones más altas del país, sin embargo, en este estudio nos concentramos en identificar que tratamientos fueron los que mejoraron la productividad.

**Tabla 4: Lista de tratamientos y dosis de aplicación usados en este ensayo experimental**

N	Tratamiento	Simbología	Humisil (kg/árbol)	Biochar (kg/árbol)	Levadura (L/árbol)	Fertilización (% dosis óptima)	Fertilización			
							% dosis óptima	Nutrientes	Unidad	Dosis
1	Testigo	T	0	0	0	0	12.4-11-18 (NPK) +2.7 (MgO) + 8 (S) +0.015 (B) + 0.2 (Fe) + 0.02 (Mn) + 0.02 (Zn)	%	90 g / planta / año	YaraMila Complex
2	Fertilización	F	0	0	0	100				
3	Humisil-fertilización	H+F	3	0	0	100	70 (Mg) + 70 (B) + 140 (Zn)	g/L	1 L / ha / año	YaraVita Zintrac MgB
4	Levaduras-biochar	LB	0	3	5	0	50% 15.45 (N) + 26 (CaO) + 0.3 (B)	%	112.5 g / planta / año	YaraLiva Nitabor
5	Levaduras-biochar- fertilización	LB+0.5F	0	3	5	50	19-4-19 (NPK) + 3 (MgO) + 1.8 (S) + 0.1 (B) + 0.1 (Zn)	%	125 g / planta / año	YaraMila Hydran
6	Levaduras-biochar- fertilización	LB+F	0	3	5	100	700 (Zn)	g/L	1.5 L / ha / año	YaraVita Zintrac 700
7	Biochar (DB)*	B	0	3	0	0				
8	Biochar-fertilización (DB)*	B+0.5F	0	3	0	50	12.4-11-18 (NPK) + 2.7 (MgO) + 8 (S) + 0.015 (B) + 0.2 (Fe) + 0.02 (Mn) + 0.02 (Zn)	%	180 g / planta / año	YaraMila Complex
9	Biochar-fertilización (DB)*	B+F	0	3	0	100				
10	Biochar-fertilización (DA)*	7B+F	0	7	0	100	70 (Mg) + 70 (B) + 140 (Zn)	g/L	2 L / ha / año	YaraVita Zintrac MgB
11	Biochar-fertilización (DA)*	15B+F	0	15	0	100	15.45 (N) + 26 (CaO) + 0.3 (B)	%	225 g / planta / año	YaraLiva Nitabor
12	Biochar-fertilización (DA)*	30B+F	0	30	0	100	19-4-19 (NPK) + 3 (MgO) + 1.8 (S) + 0.1 (B) + 0.1 (Zn)	%	250 g / planta / año	YaraMila Hydran
13	Biochar-fertilización (DA)*	60B+F	0	60	0	100				
14	Biochar (DA)*	30B	0	30	0	0	700 (Zn)	g/L	3 L / ha / año	YaraVita Zintrac 700

\* Es importante considerar que los tratamientos se agruparon de la siguiente manera:

DB: Dosis baja de biochar.

DA: Dosis altas de biochar.

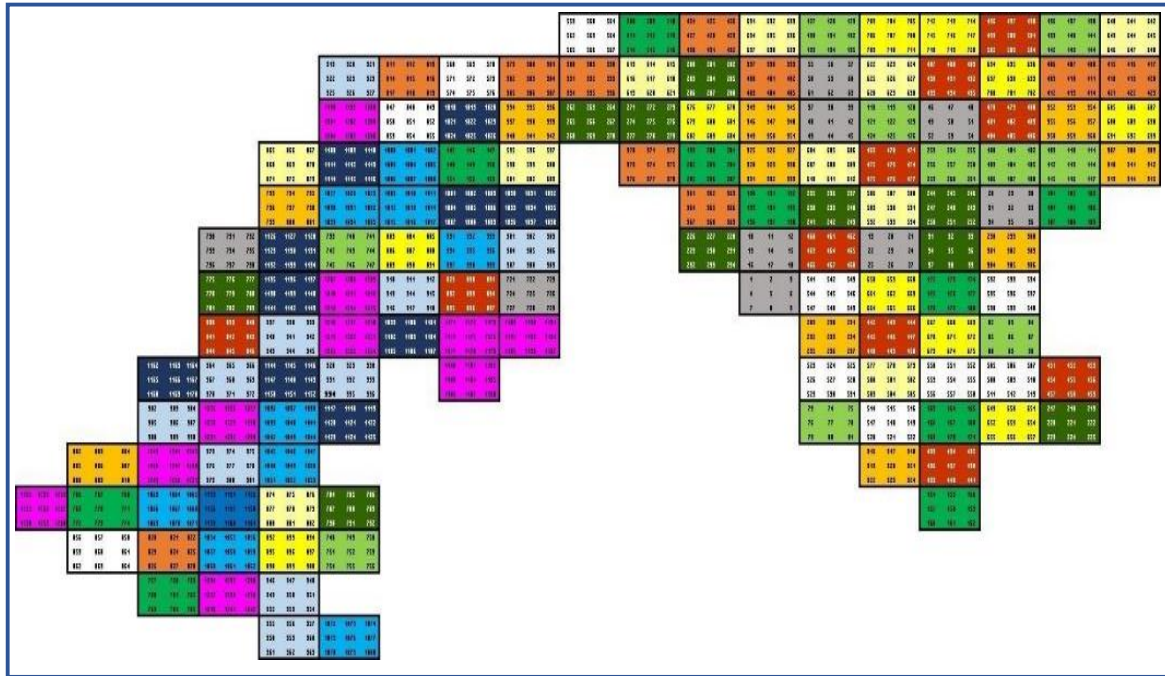


Figura 3: Distribución de los tratamientos en campo

### 3.5. Aplicación de los insumos

#### 3.5.1. Biochar

Para los tratamientos que contienen 3 kg se realizaron tres hoyos o piquetes (20 cm de profundidad aproximadamente), alrededor de la planta, en ellos se agregó el biochar y seguidamente se taparon los hoyos. Los tratamientos de 7 a 60 kg de biochar se aplicaron sobre la superficie del suelo (previa remoción de rastrojos) formando un anillo alrededor del árbol y en proyección a la copa, luego se tapó con la hojarasca.

#### 3.5.2. Levaduras

Las levaduras se disolvieron 20 ml del producto en 100 L de agua. De esta solución se aplicó al suelo 5 L por árbol alrededor de la planta tomando en cuenta la proyección de la copa.



### 3.5.3. Humisil

Se aplicó en piquetes en tres hoyos de 20 cm de profundidad alrededor de la planta junto con la fertilización.

### 3.5.4. Fertilización

Se aplicó un plan de fertilización convencional, éstos fueron aplicados solos y en combinación con las aplicaciones del biochar y el humisil como se aprecia en la Figura 3.



**Figura 4:** Aplicación de las dosis altas de biochar en conjunto con los fertilizantes en anillo alrededor del árbol

A continuación, se detallan las aplicaciones:

**Tabla 5: Plan de fertilización para los tratamientos al 100 % de la dosis optima**

Fertilizante	Dosis al 100%	Unidad	Momento de aplicación
YaraMila Complex	180.0	g/planta/año	Pre poda
YaraVita Zintrac MgB	2.0	L/ha/año	Pre poda
YaraLiva Nitabor	225.0	g/planta/año	Cuajado de fruto
YaraMila Hydran	250.0	g/planta/año	Llenado de fruto
YaraVita Zintrac 700	3.0	L/ha/año	Llenado de fruto

Para los tratamientos de fertilización al 50%, se aplicó la mitad de las dosis expuestas.

### **3.6. Cronograma de aplicaciones**

Todas las dosis de 3 kg de biochar se añadieron 1 kg /aplicación (tres aplicaciones por año), de la misma manera que el humisil, las levaduras se aplicaron también tres veces al año. En la campaña del 2018 – 2019, los meses de aplicación fueron agosto, diciembre y mayo.

### **3.7. Variables evaluadas previamente**

#### **3.7.1. Parámetros físicos de los granos por mazorca**

##### **a) Peso de grano fresco por mazorca (PF)**

Se cosecharon cuatro mazorcas maduras en promedio por unidad experimental, 588 en total, y estas se trasladaron al centro de acopio de la Cooperativa Agraria Norandino, en la que, con la ayuda de un mazo, una balanza, plumón indeleble y bandejas de cartón se procedió a abrir cada mazorca y a pesar los granos de cada una, seguidamente se depositaron en las bandejas previamente codificadas con el código correspondiente al árbol muestreado. Asimismo, se registraron los pesos y se promediaron por unidad experimental.

##### **b) Peso de grano seco por mazorca (PS)**

Cada bandeja codificada se expuso al sol entre 5 a 6 días hasta llegar al 7% de humedad aproximadamente en los secadores de Norandino, una vez secas se depositaron en bolsas plásticas codificadas y se enviaron a lima a las instalaciones de Bioversity International para su pesado.

##### **c) Número de granos (NG)**

Luego del pesado, se procedió a contar el número de granos de cada mazorca, obteniendo el promedio por unidad experimental.

##### **d) Porcentaje de humedad en promedio del grano**

Con los datos de peso fresco y peso seco de cada mazorca se obtuvo el porcentaje de humedad a través de la siguiente formula:

$$\%HG = \frac{PS}{PF} * 100$$

### **3.8. Variables evaluadas**

#### **3.8.1. Producción de mazorcas**

##### **a) Número total de mazorcas contabilizadas a inicios de campaña**

A los dos meses de fructificación aproximadamente, se contabilizaron las mazorcas producidas por árbol, se tomó como referencia un tamaño  $\geq 9$  cm de largo (Anexo 3), a esta edad se considera que tiene menor riesgo de que la planta pierda la mazorca por marchitez fisiológica o Cherville wilt. El conteo inicial se realizó en febrero del 2019, este conteo se tomó como referencia del potencial de producción del campo. De esta manera se pudo estimar la cosecha a través del uso del índice de cosecha.

##### **b) Número total de mazorcas en la cosecha real**

Se realizaron cuatro cosechas dentro de un rango máximo de 120 días después del conteo mencionado en el punto 3.8.1.1., para completar el tiempo de desarrollo del fruto (seis meses), se contaron las mazorcas en cada cosecha (a los 27, 51, 80 y 110 días), sin sobrepasar el conteo inicial tomado como referencia.

##### **c) Número de mazorcas sanas, enfermas y afectadas por ardilla**

En el conteo a los dos meses de fructificación y en cada conteo de la cosecha real se cuantificaron las mazorcas sanas, además de aquellas que mostraban signos o síntomas de alguna enfermedad y las que se encontraban con mordidas de ardilla, la cual es una plaga muy frecuente. Se puede observar la cartilla de evaluación en el Anexo 4.

#### **3.8.2. Índices de productividad**

##### **a) Índice de semilla (IS)**

El índice de semilla se calculó utilizando los datos del peso seco de cada mazorca y su número de granos a través de la siguiente fórmula:

$$IS (g) = \frac{\text{Peso seco total de granos por mazorca}}{\text{número de granos por mazorca}}$$

Este procedimiento se realizó en el mes de febrero.

### **b) Índice de mazorca (IM)**

El índice de mazorca se calculó utilizando los datos del índice de semilla y el número de granos por mazorca a través de la siguiente fórmula:

$$IM = \frac{1000}{IS * NG}$$

Donde:

IS = Índice de semilla por mazorca

NG: Numero de granos por mazorca

Este índice es particular de cada cultivar de cacao, como lo muestra García (2010), en el que menciona que el índice de mazorca para el también llamado “cacao porcelana” de Piura es 23, sin embargo, en este ensayo se calculó, a fin de tener datos más precisos del rendimiento. Los datos del IM se promediaron por unidad experimental (UE) o repetición, los cuales se utilizaron para calcular los rendimientos.

Este procedimiento se realizó en el mes de febrero.

### **c) Índice de cosecha (IC)**

El índice de cosecha es la predicción del rendimiento y se expresa en kilogramos. Para su cálculo se utilizó el número total de mazorcas contabilizadas a inicios de campaña (ver punto 3.8.1.1). Este conteo se hizo por árbol y luego se trabajó con los promedios por unidad experimental para hacer los análisis. La fórmula que se empleó fue la recomendada por el CATIE de Nicaragua y fue la siguiente:

$$IC(kg) = \frac{\text{Número total de mazorcas} \geq 9 \text{ cm}}{IM}$$

Donde:

IM = Índice de mazorca

### **3.8.3. Cosecha real (CR)**

En esta campaña se realizaron cuatro cosechas o evaluaciones. El conteo de frutos se hizo por árbol y luego se trabajó con los promedios por unidad experimental. Para calcular la producción del campo se utilizó el número total de mazorcas del punto 3.8.1.2 a través de la fórmula empleada por García (2010):

$$\text{Cosecha real (kg)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de mazorcas cosechadas}}{IM}$$

Donde:

IM = Índice de mazorca

### **3.9. Medición de factores del campo**

#### **3.9.1. pH del suelo**

Se realizó un muestreo de suelo de 25 cm de profundidad, se procedió a secar, tamizar y medir el pH en una relación de 1:2 (suelo/agua).

#### **3.9.2. Porcentaje de sombra**

Se procedió a tomar una foto a la sombra que se proyecta en campo, esto se realizara en el centro de cada unidad experimental. Luego se utilizará un programa para medir el porcentaje de sombra emitido. Esta medida es importante ya que determinará la creación de microclimas favorables a patógenos y plagas, además de provocar un estrés abiótico en el cultivo, lo que influirá en el rendimiento.

#### **3.9.3. Pendiente**

En el centro de cada unidad experimental se pone un extremo de la soga, ésta se extiende de forma recta en dirección a la pendiente y al otro extremo se pondrá la regla de la wincha perpendicular a la soga. Finalmente, poner el nivelador a la altura de la soga hasta encontrar el equilibrio y apuntar. Para esto se utilizará un nivelador, una soga de cinco metros y una wincha. De esta manera, identificaremos las zonas más propensas a inundarse, y analizaremos la influencia del riego en el rendimiento.

### **3.10. Diseño experimental**

Como diseño estadístico, se empleó el diseño completamente al azar (DCA), con cuatro factores: factor fertilización con tres niveles, factor humisil con dos niveles, factor levaduras con dos niveles y factor biochar con seis niveles, estableciéndose 14 tratamientos los cuales constan de 10 repeticiones cada uno, excepto el control que tuvo nueve. Asimismo, cada repetición constaba de nueve árboles y asimismo estaba rodeado de una fila de árboles como borde.

## Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\delta)_{ijl} + (\alpha\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Variable respuesta al usar la  $i$ -ésima dosis de fertilización, la  $j$ -ésima dosis de humisil,

la  $k$ -ésima dosis de levadura y la  $l$ -ésima dosis de biochar.

$\mu$  = Es el efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Es el efecto de la  $i$ -ésima dosis de fertilización.

$\beta_j$  = Es el efecto de la  $j$ -ésima dosis de humisil.

$\gamma_k$  = Es el efecto de la  $k$ -ésima dosis de levadura.

$\delta_l$  = Es el efecto de la  $l$ -ésima dosis de biochar.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Es el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización y la  $j$ -ésima dosis del humisil.

$(\alpha\gamma)_{ik}$  = Es el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización y la  $k$ -ésima dosis de levadura.

$(\alpha\delta)_{il}$  = Es el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización y la  $l$ -ésima dosis del biochar.

$(\beta\gamma)_{jk}$  = Es el efecto de la interacción de la  $j$ -ésima dosis del humisil y la  $k$ -ésima dosis de levadura.

$(\beta\delta)_{jl}$  = Es el efecto de la interacción de la  $j$ -ésima dosis del humisil y la  $l$ -ésima dosis del biochar

$(\gamma\delta)_{kl}$  = Es el efecto de la interacción de la  $k$ -ésima dosis de levadura y la  $l$ -ésima dosis del biochar.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  = Es el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización, la  $j$ -ésima dosis del humisil y la  $k$ -ésima dosis de levadura.

$(\alpha\beta\delta)_{ijl}$  = Es el efecto de la interacción de la  $i$ -ésima dosis de fertilización, la  $j$ -ésima dosis

del humisil y la l-ésima dosis del biochar.

$(\alpha\gamma\delta)_{ikl}$  = Es el efecto de la interacción de la i-ésima dosis de fertilización, la k-ésima dosis de levadura y la l-ésima dosis del biochar.

$(\beta\gamma\delta)_{jkl}$  = Es el efecto de la interacción de la j-ésima dosis de humisil, la k-ésima dosis de levadura y la l-ésima dosis del biochar.

$(\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl}$  = Es el efecto de la interacción de la i-ésima dosis de fertilización, la j-ésima dosis de humisil, la k-ésima dosis de levadura y la l-ésima dosis del biochar.

$\epsilon_{ijk}$  = Efecto del error experimental.

### 3.11. Análisis estadístico

Para los análisis considerar que, de los 1251 árboles en el campo, se tomaron las observaciones de 1171, ya que solo éstos tenían mazorcas al contabilizar el índice de cosecha.

Una vez comprobado los supuestos, se realizó el análisis de varianza (ANVA) para cada variable con un nivel de significancia de 0.05, también el análisis de regresión entre el índice de cosecha y la cosecha real. Se utilizaron los paquetes de *nortest* de R (Gross y Ligges, 2015) para la prueba de normalidad *Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov)*, *stats* v. 1. 4-0 de R (R Core Team 2020) para la prueba de *Bartlett* de homogeneidad de varianzas y *aov* para el análisis de varianza y en caso de no encontrarse normalidad, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis del mismo paquete. Asimismo, se utilizó la prueba de comparación de Duncan del paquete *agricolae* (De Mendiburu, 2020), con un nivel de significancia de 0.05, con el que se compararon los tratamientos. Asimismo, se utilizó un modelo lineal generalizado para evaluar la influencia del pH, la sombra, la pendiente y los tratamientos en el rendimiento, utilizando el paquete *stats* v. 1. 4-0 de R (R Core Team 2020) con un nivel de significancia de 0.05.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las tablas de resultados que se presentan y se discuten reflejan los valores promedios de los parámetros físicos de los granos, la producción de mazorcas, índices de productividad y el rendimiento de la cosecha; así como los resultados de los análisis de varianzas y las pruebas de comparación de medias.

### 4.1. Resultados previos

#### 4.1.1. Parámetros físicos de los granos por mazorca

En la Tabla 7 observamos los promedios por tratamiento de las variables estudiadas inicialmente, las cuales sirvieron de base para el cálculo de los índices de productividad. En los siguientes puntos se desarrollará cada variable.

**Tabla 6: Valores medios de peso fresco, peso seco, número de granos por mazorca y porcentaje de humedad del grano en la parcela**

N°	Tratamiento	PF	PS	NG	%HG
1	T	79.1	33.3	33	58
2	F	84.7	35	35	59
3	H+F	70.7	29.4	33	59
4	LB	89.7	36.9	34	59
5	LB+0.5F	80	33.5	35	59
6	LB+F	81.6	34.6	36	57
7	B	83	35.7	37	57
8	B+0.5F	85.2	36	41	58
9	B+F	76.1	31.5	35	58
10	7B+F	79	33.7	36	57
11	15B+F	81	33.6	37	58
12	30B+F	78.6	32.4	37	59
13	60B+F	81.8	33.9	37	59
14	30B	82.2	34	38	59
	<b>Promedio</b>	80.9	33.8	36	58



#### **a) Peso de grano fresco por mazorca (PF)**

El ANVA mostró que no existen diferencias significativas para esta variable (Anexo 5), sin embargo, la prueba de Duncan (Anexo 6) indicó que existen diferencias estadísticas entre el tratamiento de LB y el H+F siendo el mayor y menor valor de los datos. Los valores estuvieron dentro de un rango de 70.7 a 89.7 g de peso del grano fresco por mazorca, y el promedio general fue de 80.9 g, los tratamientos más altos fueron LB y B+0.5F con 89.7 y 85.2 respectivamente. El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 16 %.

El jardín clonal semillero de Piura cuenta con ocho genotipos promisorios de cacao nativo piurano y estos mostraron un peso fresco de 136.46 a 169.23 g (Cooperativa agraria Norandino).

#### **b) Peso de grano seco por mazorca (PS)**

El ANVA mostró que no existen diferencias significativas para esta variable (Anexo 7), la prueba de Duncan mostró diferencias entre el LB y H+F (Anexo 8). Los valores estuvieron dentro de un rango de 29.4 a 36.9 g de peso del grano seco por mazorca, el promedio general fue de 33.8 g, siendo los tratamientos más altos LB y B+0.5F con 36.9 y 36.0 g respectivamente. El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 18 %.

El jardín clonal semillero de Piura cuenta con ocho genotipos promisorios de cacao nativo piurano y estos mostraron un peso seco de 53.3 a 66 g (Cooperativa agraria Norandino).

#### **c) Número de granos por mazorca (NG)**

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que no existen diferencias significativas para esta variable (Anexo 9). Los valores estuvieron dentro de un rango de 33 a 41 granos de una mazorca en promedio, siendo los tratamientos más altos B+0.5F y 30B con 41 y 38 granos respectivamente. El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 25 %.

El jardín clonal semillero de Piura cuenta con ocho genotipos promisorios de cacao nativo piurano y estos mostraron un número de granos de 40 a 47 g (Cooperativa agraria Norandino).

Técnicamente la mazorca de cacao produce mayormente entre 38 a 40 granos (De la cruz *et al.*, 2012), sin embargo, según el catálogo de cultivares del Perú, el cacao nativo de Piura tiene de 24 a 48 granos por mazorca, con un promedio de 36, lo cual respalda el número de granos en promedio obtenido en este ensayo para este cultivar (García, 2010). Por otra parte, Quiñones *et al.* (2018), menciona en un estudio de árboles superiores de cacao blanco de Piura, que los árboles híbridos estudiados mostraron de 40 - 45 semillas por mazorca. Siendo este rango también uno de los indicadores que tomaron para considerar un árbol superior.

#### **d) Porcentaje de humedad en promedio del grano (%HG)**

Los resultados mostraron un rango estrecho para esta variable, el contenido de humedad que se obtuvo en este ensayo vario de 57 a 59 %, Aguilar (2016), menciona que el grano tiene un contenido de humedad entre 55 a 65 %, mientras que Ortiz de Bertorelli (2004), menciona también que el contenido de humedad del grano es de 60 %.

## **4.2. Resultados**

### **4.2.1. Producción de mazorcas**

#### **a) Número de mazorcas contabilizadas a inicios de campaña**

En la Tabla 8 vemos el número total de mazorcas que se contaron a inicios de la fructificación, en total se contabilizaron 18 136 mazorcas. La prueba de Kruskall-Wallis no evidencia diferencias estadísticas (Anexo 10). El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 34 %.

**Tabla 7: Número de mazorcas contabilizadas a los dos meses de fructificación durante a evaluación**

<b>N°</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>N° Mazorcas IC</b>
<b>1</b>	<b>T</b>	1067
<b>2</b>	<b>F</b>	1332
<b>3</b>	<b>H+F</b>	1202
<b>4</b>	<b>LB</b>	1264
<b>5</b>	<b>LB+0.5F</b>	1296
<b>6</b>	<b>LB+F</b>	1236
<b>7</b>	<b>B</b>	1083
<b>8</b>	<b>B+0.5F</b>	1403
<b>9</b>	<b>B+F</b>	1273
<b>10</b>	<b>7B+F</b>	1463
<b>11</b>	<b>15B+F</b>	1457
<b>12</b>	<b>30B+F</b>	1459
<b>13</b>	<b>60B+F</b>	1489
<b>14</b>	<b>30B</b>	1112
	<b>Total</b>	18136

**b) Número de mazorcas en la cosecha real**

En la Tabla 9 vemos la suma del número de mazorcas que se cosecharon a lo largo de las evaluaciones, en total se cosecharon 15 227 mazorcas en la campaña 2019. El ANVA que se realizó para esta variable muestra que no existe significancia estadística (Anexo 11), sin embargo, la prueba de comparación de Duncan mostro diferencias significativas entre el tratamiento 60B+F y B y 30B (Anexo 12). El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 37 %. En el Anexo 13 se observa la distribución de cada cosecha hasta alcanzar el número contado inicialmente.

**Tabla 8: Número total de mazorcas cosechadas durante la evaluación**

<b>N°</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>N° Mazorcas- Cosecha real</b>
<b>1</b>	<b>T</b>	1024
<b>2</b>	<b>F</b>	1088
<b>3</b>	<b>H+F</b>	1000
<b>4</b>	<b>LB</b>	1058
<b>5</b>	<b>LB+0.5F</b>	1221
<b>6</b>	<b>LB+F</b>	1026
<b>7</b>	<b>B</b>	892
<b>8</b>	<b>B+0.5F</b>	1260
<b>9</b>	<b>B+F</b>	1069
<b>10</b>	<b>7B+F</b>	1138
<b>11</b>	<b>15B+F</b>	1160
<b>12</b>	<b>30B+F</b>	1061
<b>13</b>	<b>60B+F</b>	1380
<b>14</b>	<b>30B</b>	850
	<b>Total</b>	15227

La diferencia entre lo contado inicialmente con la cosecha real fue de 16 % menos, el total de días de evaluación fue de 110 días, no se tomó una cosecha más ya que sobrepasaba los 120 días que se propuso inicialmente para completar la fructificación. El hecho de necesitar aun un 16 % de cosecha para que estas dos variables coincidan puede deberse a que se contó frutos de menos de dos meses de edad lo que se podría explicar por el pequeño tamaño de la mazorca en comparación a otros cultivares, lo que dificulta precisar la edad del fruto.

### **c) Número de mazorcas sanas, enfermas y afectadas por ardilla**

En la Tabla 10 se muestra la cantidad de mazorcas sanas, las que fueron afectadas por alguna enfermedad y las que fueron dañadas por la ardilla, el número total de mazorcas sanas contabilizadas fue de 14 275. Asimismo, se observó que la pérdida de mazorcas por ardilla fue el doble que por enfermedad. Las mazorcas enfermas representaron el 2 %, mientras que las afectadas por ardilla el 4 % del total. Con esto observamos que la ardilla es una plaga que afecta en mayor medida a la producción de mazorcas.

**Tabla 9: Número de mazorcas sanas, enfermas y atacadas por ardilla durante la evaluación**

<b>N°</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Mazorcas sanas</b>	<b>Mazorcas enfermas</b>	<b>Mazorcas ardillas</b>
<b>1</b>	<b>T</b>	970	22	32
<b>2</b>	<b>F</b>	1047	11	30
<b>3</b>	<b>H+F</b>	930	24	46
<b>4</b>	<b>LB</b>	980	18	60
<b>5</b>	<b>LB +0.5F</b>	1154	35	32
<b>6</b>	<b>LB+F</b>	946	24	56
<b>7</b>	<b>B</b>	831	10	51
<b>8</b>	<b>B+0.5F</b>	1204	10	46
<b>9</b>	<b>B+F</b>	1001	15	53
<b>10</b>	<b>7B+F</b>	1031	46	61
<b>11</b>	<b>15B+F</b>	1097	18	45
<b>12</b>	<b>30B+F</b>	996	30	35
<b>13</b>	<b>60B+F</b>	1315	36	29
<b>14</b>	<b>30B</b>	773	14	63
	<b>Total</b>	14275	313	639

### **4.3. Índices de productividad**

En la siguiente tabla, se muestran los promedios que se obtuvieron del índice de semilla, el índice de mazorca, las mazorcas producidas en promedio por árbol para cada tratamiento y los kilogramos en promedio por árbol para cada tratamiento.

**Tabla 10: Promedios de las variables indicadoras de productividad**

N°	Tratamiento	IS	IM	Mz/árbol IC	kg/árbol IC
1	T	1.01	32	14	0.48
2	F	1.01	30	17	0.58
3	H+F	0.89	35	14	0.41
4	LB	1.09	27	15	0.53
5	LB +0.5F	0.96	32	15	0.52
6	LB+F	0.98	30	15	0.52
7	B	0.98	28	13	0.48
8	B+0.5F	0.93	29	16	0.58
9	B+F	0.9	33	16	0.5
10	7B+F	0.94	31	17	0.57
11	15B+F	0.91	30	17	0.55
12	30B+F	0.88	32	17	0.54
13	60B+F	0.92	31	18	0.58
14	30B	0.9	30	13	0.44
<b>Promedio</b>		0.95	31	15	0.52

#### 4.3.1. Índice de semilla (IS)

El rango en el que varió el peso de la semilla fue de 0.88 a 1.09 g, el tratamiento más alto fueron las levaduras con el biochar (LB) y el peso de la semilla mostró un promedio general de 0.95 g. Se realizó la prueba de Kruskal Wallis, ya que no se obtuvo normalidad en los datos, esta prueba mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 14). El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 17 %.

Según el “Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento postcosecha de cacao” del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (Guerrero, 2007), un peso menor a 1 g representa un grano pequeño, de 1 a 1.2 g, un grano mediano y mayor a 1.2 g, un grano de tamaño grande. De acuerdo con esta clasificación, en este ensayo la semilla es de tamaño pequeño. Asimismo, García (2010), menciona que la semilla de este cultivar tiene un tamaño de pequeño a intermedio y que el peso de la semilla varía de 1.0 a 1.4 g. El jardín clonal semillero de Piura cuenta con ocho genotipos promisorios de cacao nativo piurano y estos mostraron un IS de 1.3 a 1.5 g (Norandino).

Quiñones *et al.* (2018), consideraron que uno de los indicadores para considerar un árbol superior de cacao blanco de Piura es que deba tener un peso de 1.25 g como mínimo y 2 g como máximo, en la investigación también obtuvieron que los árboles híbridos estudiados oscilaron de 1.3 a 2 g de peso seco de la semilla.

#### **4.3.2. Índice de mazorca (IM)**

El rango en el que varió este índice fue de 27 a 35 mazorcas, el tratamiento con el valor más alto y por ende el que necesitará más mazorcas para un kilogramo de grano seco fue el H+F, mientras que el valor más bajo correspondió a los tratamientos de LB y B, además el promedio general del campo fue de 31. Se realizó la prueba de Kruskal Wallis para comparar los tratamientos y esta evidenció que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 15). El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 19 %.

García (2010), menciona que el índice de mazorca para este cultivar es de 23, además Quiñones *et al.* (2018), consideraron como indicadores de producción de árboles superiores de cacao blanco piurano que el mínimo de IM debía ser 11.1 y el máximo 19.7, obteniendo en los árboles híbridos seleccionados un IM de 11.1 a 19.5. Con estos estudios se comprueba el potencial de producción de este cultivar, sin embargo, en nuestro ensayo se nota un valor mayor de este índice, ya que no es un campo 100 % de cacao blanco, sino que estaba mezclado con cacaos criollos y forasteros de la zona producto de la polinización cruzada que existe entre cultivares.

#### **4.3.3. Índice de cosecha (IC)**

Este índice se halló por árbol (número de mazorcas por árbol entre el IM), en la Tabla 11 se aprecia el número de mazorcas, en el cual se obtuvo en promedio 15 mazorcas producidas. Los kilogramos producidos por árbol muestran un rango de 0.41 a 0.58 g con un promedio general del campo de 0.52 g, estos son los valores que se estimaron de la producción a inicios de la campaña. El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 38 %.

La prueba de Kruskal-Wallis para la variable kilogramos por árbol mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 16).

El CATIE de Nicaragua recomiendan el uso de este índice para la estimación de la cosecha de la campaña, sin embargo, es un índice que no ha sido muy trabajado en el Perú, razón por la cual no se encontraron referencias, no obstante, la fórmula que se empleó es muy utilizada

para hallar el rendimiento de la cosecha, como en el catálogo de cultivares del Perú (García, 2010) y en el programa CocoaSoils (Rusinamhodzi *et al*, 2020).

#### 4.4. Cosecha real (CR)

En la Tabla 12 se muestra el número de mazorcas (Mz), con un promedio de 13 mazorcas producidas. Los kilogramos producidos por árbol expresan un rango de 0.36 a 0.54 g con un promedio general de 0.45 g. El ANVA no evidencia diferencias significativas para ambas variables (Anexo 17 y 18). El coeficiente de variabilidad para esta variable fue de 39 %.

**Tabla 11: Valores medios del número de mazorcas y la producción en kg por árbol**

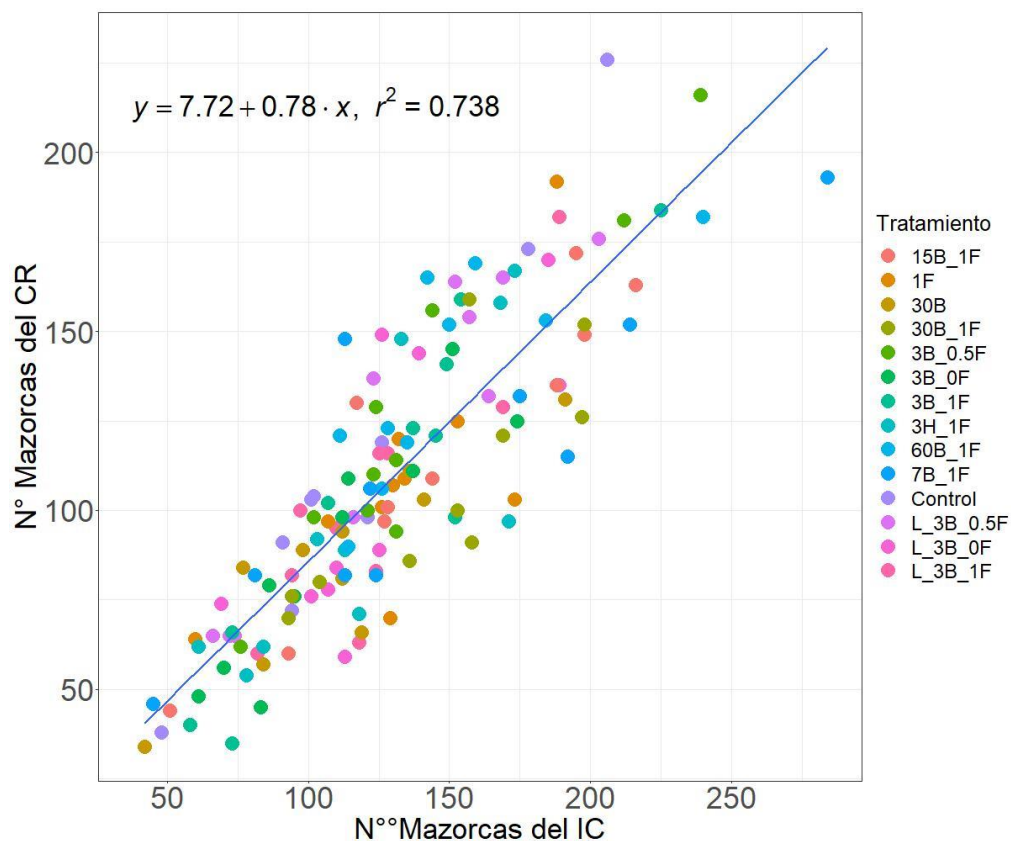
Nº	Tratamiento	Mz/árbol CR	Kg/árbol CR
1	T	13	0.47
2	F	14	0.51
3	H+F	12	0.36
4	LB	13	0.47
5	LB+0.5F	15	0.50
6	LB+F	13	0.45
7	B	12	0.44
8	B+0.5F	15	0.52
9	B+F	14	0.44
10	7B+F	13	0.44
11	15B+F	14	0.45
12	30B+F	13	0.40
13	60B+F	16	0.54
14	30B	11	0.37
<b>Promedio</b>		13	0.45

Quiñones et al. (2018), en su investigación considera como uno de los indicadores de producción de árboles superiores de cacao blanco piurano que la producción estimada por árbol debe ser como mínimo 4.7 kg y como máximo 10.8 kg, además este obtuvo como resultado de sus evaluaciones a estos árboles que producían de 1.8 kg a 10.8 kg, valores que son mucho más altos que los obtenidos en este estudio.



#### 4.5. Relación del índice de cosecha y la cosecha real

En la Figura 4 se observa que la cosecha real muestra una alta dependencia con respecto al índice de cosecha con un  $r^2$  de 0.74, lo cual indica que el 74 % de los valores de la CR son explicados por el IC para el 2019. El análisis de regresión simple muestra que la variable independiente es altamente significativa es decir diferente de cero. Asimismo, se realizó la correlación de Pearson que muestra que ambas variables se correlacionan en un 86 % (Anexo 19) lo que expresa una correlación positiva, por lo que podemos decir que el índice de cosecha fue un buen estimador para predecir el rendimiento del campo. Asimismo, cabe recordar que el número de mazorcas contabilizadas en la CR incluyen las mazorcas que fueron afectadas por alguna enfermedad o por la ardilla con la intención de reducir la influencia de factores externos y así tener en cuenta todas las mazorcas que se contaron a inicio de la evaluación.



**Figura 5:** Regresión lineal del número de mazorcas del índice de cosecha y la cosecha real

#### **4.6. Evaluación del rendimiento**

Para realizar esta evaluación, se tomaron los datos del IC, ya que estos reflejan la producción potencial del campo sin los factores externos que influyen en la cosecha real, además se observó que el tratamiento más bajo en rendimiento (H+F) es el mismo tanto en el IC como en la CR, mientras que los más altos fueron el F y el 60B+F.

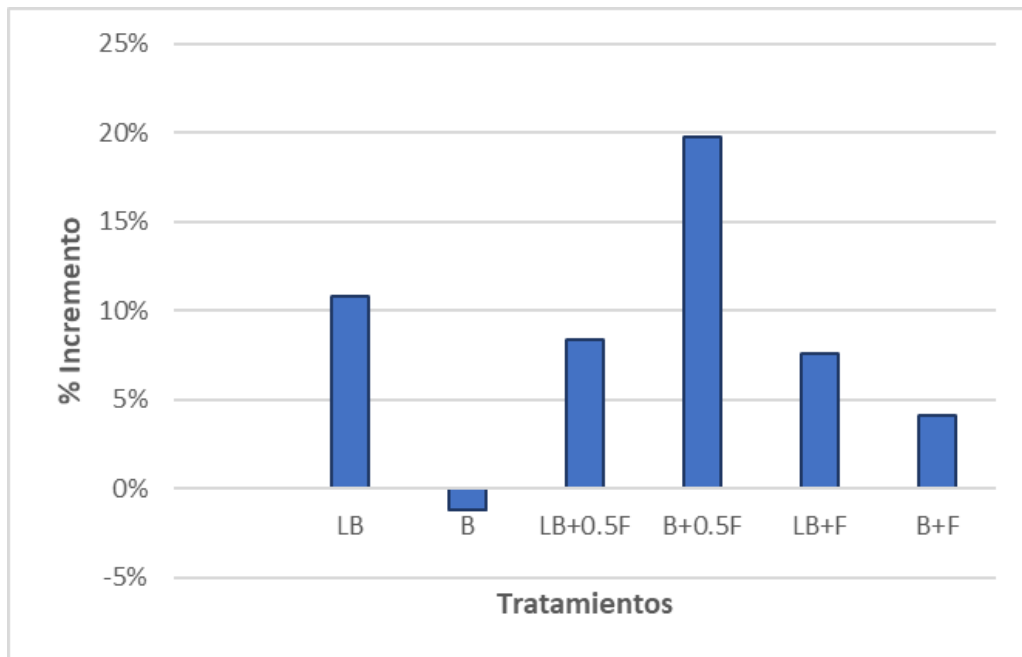
Para calcular el rendimiento por hectárea los valores expresados en kg/árbol se multiplicaron por 1111 árboles, el cual es el número de árboles plantados por hectárea con un distanciamiento de 3 x 3 m. En la Tabla 13, vemos los incrementos en porcentaje de cada tratamiento respecto al control.

Es importante considerar, que los datos no están referidos a rendimientos anuales ya que solo se evalúa un rango aproximadamente de tres meses y medio (los considerados como los de mayor producción) además la cosecha de cacao en Piura aunque produce a lo largo del año se enfatiza en tres campañas consideradas como la campaña grande (la que se evaluó), la mediana y la baja (ver Tabla 4), es así que para hacer una comparación de lo que represento la cosecha evaluada con respecto a todo el año, se tomó el rendimiento del testigo ( $535 \pm 105$  kg/ha), el cual fue equivalente al 75 % del rendimiento anual promedio de la parcela (713 kg/ha/año) (Anexo 20), en la Tabla 13 se muestra estos datos de la evaluación y estos estimados al 100 % lo que representaría la producción anual.

**Tabla 12: Valores medios del rendimiento por hectárea durante el tiempo de evaluación (75 %), rendimiento estimado anual (100 %) y porcentaje de incremento con respecto al tratamiento testigo**

<b>N°</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>kg/ha IC (75 %)</b>	<b>kg/ha IC (100%)</b>	<b>% Incremento</b>
1	<b>T</b>	535	713	
2	<b>F</b>	646	861	21%
3	<b>H+F</b>	454	605	-15%
4	<b>LB</b>	593	790	11%
5	<b>LB+0.5F</b>	580	773	8%
6	<b>LB+F</b>	576	768	8%
7	<b>B</b>	529	705	-1%
8	<b>B+0.5F</b>	641	854	20%
9	<b>B+F</b>	557	743	4%
10	<b>7B+F</b>	632	843	18%
11	<b>15B+F</b>	610	813	14%
12	<b>30B+F</b>	604	805	13%
13	<b>60B+F</b>	647	863	21%
14	<b>30B</b>	494	658	-8%

Con lo anterior, todos los tratamientos mostraron rendimientos mayores al promedio regional de Piura que es de 456 kg/ha (SEPA, 2018), cuatro al promedio nacional que es de 827 kg/ha (SEPA, 2018), nueve a la media del distrito de Las Lomas que es de 750 kg/ha y solo tres fueron inferiores a la media del rendimiento de la parcela, según la información brindada por la Cooperativa Agraria Norandino.



**Figura 6:** Comparación del incremento del rendimiento entre los tratamientos de biochar con y sin la aplicación de levaduras

En la (Figura 5), al aplicar las levaduras junto con el biochar (LB), se observaron incrementos mayores a si solo se aplicara biochar (B) de tal forma que los incrementos fueron de 11 y -1 %. Sin embargo, las levaduras más el biochar y el 50 % de fertilización (LB+0.5F) mostraron menos incremento a la aplicación de B+0.5F tal que los incrementos fueron 8 y 20 %, mientras que los tratamientos de LB+F y B+F, sus incrementos fueron cercanos y reducidos, 8 y 4%. Algunos autores mencionan que existe una relación positiva entre la actividad microbiana y los suelos enriquecidos con biochar, estos estudios sugieren que los microporos del biochar podrían permitir el establecimiento de colonias microbianas (Steiner et al., 2008). Otras investigaciones proponen al biochar como soporte de inóculos de hongos y otros organismos que favorecen el desarrollo de micorrizas (Lehmann et al., 2011; Major, 2010). Asimismo, ya que el biochar aumenta el área superficial del suelo, también aumenta la retención de agua y nutrientes, lo que incrementaría el hábitat de los microorganismos (Lenhann, 2006). Por lo anterior, en este estudio se sugirió que debido a que el biochar mejora las condiciones del suelo esto podría promover que las levaduras muestren un efecto positivo en la productividad, no obstante, los rendimientos que se obtuvieron no muestran claramente el efecto que producen las levaduras y su interacción con el biochar.

En un estudio de Nakayan et al. (2012), éstos mencionaron que una especie de levadura del género *Meyerozyma*, mejoró el peso seco del maíz cuando se aplicó en conjunto con la fertilización química, mejorando la absorción de nutrientes, sin embargo, en este ensayo tampoco se observó con claridad la interacción de las levaduras con la fertilización.

En el grupo que consideramos como dosis altas de biochar, solo el 30B mostró un negativo incremento de -8 % pero los tratamientos a los que se aplicaron la dosis completa de fertilización presentaron incrementos 13 a 21 %.

Asimismo, el aumento de la dosis de solo fertilización, 21%, fue similar a su aplicación en conjunto con el biochar, por lo que el efecto del biochar no se aprecia en esta primera campaña de evaluación, en este sentido, Tian et al. (2018), mencionaron que el biochar tiene una reacción lenta en el suelo, por lo que sus efectos en la productividad y en la disponibilidad de elementos se pueden mostrar con mayor énfasis después de algunas aplicaciones continuas, es así como en el estudio que realizó en algodón, obtuvo un aumento del rendimiento de 28 a 140 % luego de tres años de aplicación.

Además, existe evidencia que respalda el uso de la fertilización y el biochar juntos, de tal forma que, Albuquerque *et al.* (2013); Glaser *et al.*, (2002); Hossain *et al.*, (2010); Shulz y Glaser, (2012), aseguran que los efectos del biochar en el crecimiento de las plantas son más evidentes cuando se combinan con la fertilización mineral, ya que éstos se relacionan principalmente con una mayor disponibilidad de nutrientes, puesto que mejora la capacidad de retención de agua del suelo. Hamdani *et al.* (2017) registraron hasta 33% mayor altura de planta cuando aplicaron biochar y fertilizantes; concluyendo que el biochar disminuyó la pérdida de los fertilizantes, debido a su capacidad de adsorción.

Por otro lado, el bajo incremento de la aplicación de 30B, se podría deber a que su aporte de nutrientes es reducido, es por esto por lo que se enfatiza más su efecto de enmienda, por favorecer las propiedades físicas y químicas (Kanthle *et al.*, 2016, Yao *et al.*, 2012) y aumentar el contenido de materia orgánica (Tian *et al.*, 2018).

Por otra parte, según la ficha técnica del biochar su aporte de nutrientes es bajo, en tal sentido Albuquerque *et al.* (2014), aseguraron que el biochar producido con materias primas pobres en nutrientes puede mostrar beneficios limitados en la fertilidad del suelo en corto tiempo. Estos resultados se asocian a la naturaleza del biochar, el cual es un material rico en carbono y con una baja tasa de mineralización, lo cual puede limitar la disponibilidad de los nutrientes. Es por esto por lo que diversas investigaciones mencionan que se obtiene una

mejor respuesta cuando se combina con fertilizantes minerales (Albuquerque *et al.*, 2013; Hossain *et al.*, 2010; Schulz and Glaser, 2012; Van Zwieten *et al.*, 2010).

Por otro lado, el efecto de las enmiendas y la fertilización está sujeta a otros factores del campo, los cuales se explicarán en el punto 4.7, éstos incrementan la variabilidad del campo lo que podría haber provocado que no se evidenciara significancia entre los tratamientos a pesar de la diferencia entre algunos de ellos.

#### 4.6.1. Análisis Económico

En la siguiente tabla se muestra el costo en soles por hectárea de la fertilización y de cada enmienda incorporada al suelo para cada tratamiento, además se incluye el costo de los jornales que fueron necesarios, siendo cada jornal S/. 40, de tal manera que se pueda conocer la inversión que implicaría aplicarlas en el campo.

**Tabla 13: Costos (S/.) de los insumos aplicados en este ensayo para cada tratamiento**

N°	Tratamiento	Biochar	Fertilización		Humisil	Levaduras	Jornal (S/.)	Total (S/.)
		Costo por kg/ha	Costo mitad de dosis/ha	Costo dosis completa /ha	Costo /ha	Costo/ha		
1	T							
2	F			3000			160	3160
3	H+F			3000	9999		160	13159
4	LB	3000				180	320	3500
5	LB+0.5F	3000	1500			180	400	5080
6	LB+F	3000		3000		180	400	6580
7	B	3000					320	3320
8	B+0.5F	3000	1500				400	4900
9	B+F	3000		3000			400	6400
10	7B+F	6999		3000			600	10599
11	15B+F	14999		3000			800	18799
12	30B+F	29997		3000			1000	33997
13	60B+F	59994		3000			1400	64394
14	30B	29997					1000	30997

Según la tabla de costos, se observa que las levaduras son las enmiendas más accesibles mientras que los demás insumos poseen costos elevados.

En la Tabla 14 observamos el rendimiento estimado anual del grano en fresco, el cual se halló dividiendo los kg/ha de grano seco y el porcentaje del peso seco del grano

(aproximadamente 40%, la ganancia bruta se obtuvo estimando un precio de tres soles el kilogramo de cacao fresco. De esta manera se observó los tratamientos que tuvieron una mayor ganancia.

**Tabla 14: Ganancia neta estimada anual obtenida para cada tratamiento**

N°	Tratamiento	Rendimiento anual – grano fresco (kg/ha)	Ganancia bruta (precio kg S/.3.0)	Costo total (S/.)	Ganancia neta (S/.)
1	T	1693	5079		5079
2	F	2089	6268	3160	3108
3	H+F	1461	4383	13159	-8776
4	LB	1914	5742	3500	2242
5	LB+0.5F	1865	5594	5080	514
6	LB+F	1801	5404	6580	-1176
7	B	1640	4920	3320	1600
8	B+0.5F	2019	6057	4900	1157
9	B+F	1786	5357	6400	-1043
10	7B+F	1978	5934	10599	-4665
11	15B+F	1944	5833	18799	-12966
12	30B+F	1952	5855	33997	-28142
13	60B+F	2080	6240	64394	-58154
14	30B	1591	4774	30997	-26223

Al observar la ganancia neta expresada en la Tabla 14 el cuál es la resta de la ganancia bruta menos los costos, vemos que todos los tratamientos aplicados resultan negativos por lo que los incrementos no resultan suficientes para cubrir la inversión de las aplicaciones, sin embargo, será necesario continuar evaluando los años posteriores ya que varios estudios indican que el efecto de las enmiendas se expresa mejor con el tiempo y las aplicaciones sucesivas. Por otro lado, el bajo precio del cacao en Piura también es un factor importante de considerar ya que en otras zonas cacaoteras el precio está por encima de los S/.7, sin embargo, en Piura a pesar de tener un cacao de excelente calidad mantiene precios que no motivan al productor, además que se le añade la problemática del cadmio en sus granos lo que también ha repercutido en el precio del cacao. Asimismo, existen iniciativas que buscan enseñar a asociaciones de productores a fabricar su propio biochar con los residuos de sus parcelas, de tal manera que los costos se reduzcan.

#### 4.7. Influencia de factores del campo

El modelo lineal generalizado para la variable kg/ha del IC exhibe diferencias estadísticas para el pH, la sombra, la pendiente con un nivel de significancia de 0.05 (Anexo 21), Córdova *et al.* (2001), menciona que las variables que influyen en el rendimiento son la edad de la plantación, control ineficientes de plagas y enfermedades, inadecuado sistema de drenaje, baja aplicación de fertilizantes, inadecuado manejo de sombra en las plantaciones de cacao, poco apoyo técnico y capacitación a los productores. Efectivamente, en este ensayo se pudo identificar que las variables que generaron una alta variabilidad en los resultados, de tal manera que no mostraran significancia a pesar de la diferencia entre ellos, fue la heterogeneidad del campo en la sombra (85 %) por la distribución de los árboles forestales, la irregular topografía, y a esto también se añade las diferentes variedades de cacao, siendo cacao blanco piurano un 40 % aproximadamente contando además con variedades criollas de la región e híbridos como el CCN 51.

Asimismo, también se tuvo un inadecuado drenaje del campo, ya que existían zonas en las que el encharcamiento era más propenso, por la variable pendiente que iba de 0 a 22 %, en esto, la literatura menciona que en un terreno con pendiente los canales de riego deben estar establecidos en forma perpendicular para evitar precisamente el arrastre de los insumos que se aplican y obtener un riego más uniforme, así como un buen tiempo de contacto, en el que se forme una lámina superficial que se infiltre en el suelo (Faci y Playan, 1994), por el tipo de suelo que tenemos esta sería la mejor forma de regar ya que, al ser un suelo arcilloso, el agua se expandirá lateralmente con mayor facilidad y así se asegurara el mojado de todas las raíces (Fernández *et al.*, 2010).

Cabe mencionar que, en las Lomas cada productor posee turnos de riego, es así que, para el campo estudiado, la frecuencia de riego es cada diez días, dependiendo la disponibilidad del agua, teniendo en cuenta esto y las altas temperaturas de la zona ( $> 30^{\circ}\text{C}$ ) (Anexo 22) el cultivo pudo haber pasado por un estrés hídrico además de que el riego es necesario para la mineralización de los fertilizantes y el biochar. Atkinson (2010); Laird *et al.*, (2010) y Liu *et al.* (2012), mencionaron que la adición de biochar es útil para prevenir el estrés hídrico y favorece el incremento del rendimiento en zonas áridas y Kammann *et al.* (2011) asegura que el biochar aumenta la tolerancia a la sequía y promueve el uso eficiente del agua. De esta manera se enfatiza la aplicación de esta enmienda a los suelos de Piura para retener el agua en el suelo por más tiempo y aminorar los efectos de las temporadas de sequía.



En el análisis de caracterización de suelos observamos que en general el suelo es similar en sus propiedades físicas y químicas, no obstante, la clase textural de la parcela es arcillosa en la zona plana y franco arcillosa en el resto del campo, de tal manera, que es importante considerar que el efecto del biochar en el suelo depende de la textura y la mineralogía, es así como los beneficios de esta enmienda son más pronunciados en un suelo de textura gruesa que en un suelo de textura fina, y los suelos arenosos son más sensibles que los suelos ricos en arcilla (Blanco-Canqui, 2017). Liu *et al.* (2013), respalda lo anterior al encontrar mejores respuestas en suelos con textura arenosa más que en suelos francos y limosos, por esto será necesario continuar evaluando para observar el comportamiento del biochar.

A todo esto, se debe añadir el método de aplicación de los insumos, siendo solo los tratamientos con dosis bajas los que se aplicaron en piquetes, mientras que los demás se aplicaron en anillo superficialmente (tapados con la hojarasca) y los fertilizantes se aplicaron en combinación con éstos, más se hizo de esta manera por la extensa área del campo y los costos, en tal sentido, se observó que el biochar y los fertilizantes pudieron haber sido lavados por el agua de riego al haber sido aplicados superficialmente, debido a que se encontró poco en algunas plantas de los tratamientos de las dosis altas de biochar en una zona en la que la pendiente era pronunciada y los canales de riego estaban a favor de ella.

## **V. CONCLUSIONES**

1. El número de granos por mazorca se mantuvo dentro del rango de la región, el promedio del índice de semilla fue menor a 1 g, y el índice de mazorca fue mucho más alto al estándar del cacao blanco nativo de Piura.
2. Se determinó una buena correlación entre la producción de mazorcas del índice de cosecha y la cosecha real.
3. No hubo diferencias significativas entre los rendimientos, a pesar de la diferencia en porcentaje de ellos.
4. La pendiente, sombra y pH influyeron en el rendimiento significativamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda calcular según el sitio estudiado y el cultivar de cacao, el índice de semilla y el índice de mazorca para los cálculos del índice de cosecha y la cosecha real debido a la variabilidad del campo.
2. Debido a que este es el primer ensayo que evalúa el rendimiento del cacao blanco piurano, se sugiere evaluar el índice de cosecha y la cosecha real en varias campañas a fin de conocer el porcentaje de pérdida potencial en la cosecha.
3. Se recomienda investigar las levaduras y el biochar con abonos o fertilizantes orgánicos.
4. Teniendo en cuenta la realidad de la agricultura del país, se sugiere utilizar las dosis bajas de biochar de este ensayo.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta, J.O.; Soto, G.; Casanoves, F.; Dita, M.A.; Pocasangre, L.; Estrada, F. (2014). Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmívora* en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica. [en línea]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/283491351\\_Impacto\\_de\\_la\\_adicion\\_de\\_biocarbon\\_en\\_el\\_mejoramiento\\_de\\_suelos\\_rendimiento\\_e\\_incidencia\\_de\\_Moniliophthora\\_roreri\\_y\\_Phytophthora\\_palmivora\\_en\\_cacao\\_organico\\_en\\_Talamanca\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/283491351_Impacto_de_la_adicion_de_biocarbon_en_el_mejoramiento_de_suelos_rendimiento_e_incidencia_de_Moniliophthora_roreri_y_Phytophthora_palmivora_en_cacao_organico_en_Talamanca_Costa_Rica)
- ADEX (Asociación de Exportadores). (2019). Boletín semanal Perú exporta. Lima, Perú. N° 288.
- Ayestas E. D. (2009). Caracterización morfológica de cien árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. en Waslala, RAAN, Nicaragua, 2009. Tesis de graduación, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Recuperada de [https://www.worldcocoaafoundation.org/wp-content/uploads/files\\_mf/ayestavillega2009.pdf](https://www.worldcocoaafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/ayestavillega2009.pdf)
- AGRODATAPERU. (2018). Cacao grano Perú exportación 2017. [en línea]. Recuperado de <https://www.agrodataperu.com/2018/02/cacao-grano-peru-exportacion-2018-enero.html>.
- AGRODATAPERU. (2019). Cacao grano Perú exportación 2019 febrero. [en línea]. Recuperado de <https://www.agrodataperu.com/2018/02/cacao-grano-peru-exportacion-2018-enero.html>.
- Albuquerque, J. A.; Salazar, P.; Barrón, V.; Torrent, J.; Del Campillo, M. C.; Gallardo, A.; Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for sustainable development*. 33, 475–484. doi: 10.1007/s13593-012-0128-3

- Alburquerque, J. A.; Calero, J.M.; Barrón, V.; Torrent, J.; Del Campillo, M. C.; Gallardo, A.; Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 177,16-25. doi: 10.1002/jpln.201200652
- APPROCAP (Asociación de pequeños productores de cacao de Piura, Perú). (2019). Cacao orgánico fino de aroma, de Piura para el mundo. Recuperado de <http://approcapiura.wixsite.com/cacaopiurano>
- Armando, C. (2016). Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo: Situación actual y perspectivas en el mercado nacional e internacional al 2015. MINAGRI-DEEIA. Lima, Perú, 90 p. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/estudios/2016/21-estudio-del-cacao-en-el-peru-y-en-el-mundo/file>
- Atkinson, C.J.; Fitzgerald, J.D.; Hipps, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil*. 337, 1–18. doi: 10.1007/ s11104-010-0464-5
- Barrientos, P. (2015). El comercio del cacao y su influencia en la agricultura peruana. *Revista Pensamiento crítico* 20(1), 7-23.
- Biederman, L.A.; Harpole, W.S. (2013). Biochar y sus efectos en la productividad de la planta.y ciclo de nutrientes: un metaanálisis. *Global Change Biology Bioenergy*. 5, 202–214. doi:10.1111/gcbb.12037
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*. 81 (4), 687-711. doi: 10.2136/sssaj2017.01.0017
- Castro, L.; Vignati, F. (2018). Iniciativa Latinoamericana del Cacao: Boletín No. 3. Caracas: CAF. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1258>
- CATIE Nicaragua (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2019). ¿Cómo hacer para estimar la cosecha de cacao en su finca? [en línea]. Recuperado de <https://www.catie.ac.cr/nicaragua/es/75-como-hacer-para-estimar-la-cosecha-de-su-finca-de-cacao.html>

- Chan, K.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*. 45, 629-634. Recuperado de <https://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.852.961&rep=rep1&type=pdf>
- Ferrari, D. M.; Ferrari, H. J.; Ferrari, M. C. Cobcal 2 - Software para el cálculo de cobertura vegetal. Estación Experimental Agropecuaria INTA. Concepción del Uruguay. [en línea]. Recuperado de <http://cobcal.sitiogma.com.ar/descargas/index>
- Cocoa of Excellence Programme and the International Cocoa Awards. (2015). Recuperado de <https://static1.squarespace.com/static/56680247841abadb3a819e1c/t/58909393db29d6451a43100a/1485869991527/CoEx-ICA-2015-ALL-50-CHOCOLATES.pdf>
- De la Cruz, J.; Vargas, M.A.; Del Angel, O.A. 2012. Cacao: Operaciones poscosecha. Instituto Tecnológico de Veracruz, y el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. 78p. Recuperado de <http://www.fao.org/documents/card/es/c/1fa1c733-4ed9-41e7-a9b0-6d5585ad262e/>
- DeLuca, T.; MacKenzie, M.; Gundale, M.; Holben, W. (2006). Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Science Society of America Journal*. 70, 448–453.
- Downie, A.; Crosky, A.; Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. En J. Lehmann and S. Joseph (eds.). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan. London, UK. pp. 13-30. Recuperado de <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%202013-01-09.pdf>
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros Colombianos). (2005). Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de

[https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecaca-o-pub-doc\\_09B.pdf](https://www.fedecacao.com.co/portal/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecaca-o-pub-doc_09B.pdf)

- Furcal-Beriguete, P. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Escuela de Agronomía, Sede San Carlos, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1), 113-129. doi: 10.15517/am.v28i1.23236
- García, L.F. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Ministerio de Agricultura-DEVIDA. Lima- Perú. 112 pp.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. *A review. Biology and Fertility of Soils*. 35, 219–230. doi: 10.1007/s00374-002-0466-4
- Gómez-García, R.; Vignati, F. (2016). Iniciativa Latinoamericana del cacao. CAF. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/892>
- Guerrero J. (2012). Guía técnica de análisis de suelos y fertilización de cacao. San Martín Perú. [en línea]. Recuperado de [https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-a-cacao\\_SUELOS\\_FERTILIZACI%C3%93N\\_.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-a-cacao_SUELOS_FERTILIZACI%C3%93N_.pdf)
- Guerrero, M. (2007). Diagnóstico y propuesta de parámetros para la estandarización y homogenización del tratamiento poscosecha de cacao. Corporación Andina de Fomento Proyecto Competitividad – Programa de Apoyo a la Competitividad, Gobernabilidad e Inversión Social. Unidad de Coordinación de Préstamos Sectoriales – UCPS Ministerio de economía y finanzas – MEF. Recuperado de [https://www.minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/boletines/Estudio\\_III\\_de\\_Post\\_Cosecha\\_de\\_Cacao.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/boletines/Estudio_III_de_Post_Cosecha_de_Cacao.pdf)
- Gunes, A.; Inal, A.; Taskin, M.; Sahin, O.; Kaya, E.; Atakol, A. (2014). Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil use and Management*. 30, 182–188. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/262027057\\_Effect\\_of\\_phosphorus\\_enriched\\_biochar\\_and\\_poultry\\_manure\\_on\\_growth\\_and\\_mineral\\_composition\\_of\\_lettuce\\_Lactuca\\_sativa\\_L\\_cv\\_grown\\_in\\_alkaline\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/262027057_Effect_of_phosphorus_enriched_biochar_and_poultry_manure_on_growth_and_mineral_composition_of_lettuce_Lactuca_sativa_L_cv_grown_in_alkaline_soil).

- Hamdani, S.A.; Aon, M.; Ali, L.; Aslam, Z.; Khalid, M.; Naveed, M. (2017). Application of *Dalbergia sissoo* biochar enhanced wheat growth, yield and nutrient recovery under reduced fertilizer doses in calcareous soil. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 54(1), 107-115. doi: 10.21162/PAKJAS/17.5102
- Haowei, Y.; Weixin, Z.; Jianjun, Ch.; Hao, Ch.; Zebin, Y.; Jun, H.; Haoru, T.; Xiangying, W.; Bin, G. (2019). Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management*. 232, 8-21. Recuperado el 06 de febrero de 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.10.117
- IBI (International Biochar Initiative). (2015). Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil (en línea, sitio web). Recuperado el 26 de febrero de 2019, de [https://www.biochar-international.org/wpcontent/uploads/2018/04/IBI\\_Biochar\\_Standards\\_V2.1\\_Final.pdf](https://www.biochar-international.org/wpcontent/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf)
- Kammann, C. I.; Linsel, S.; Gobling, J. W.; Koyro, H. W. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd. and on soil-plant relations. *Plant and Soil*. 345, 195–210. doi: 10.1007/s11104-011-0771-5
- Kameyama, K.; Miyamoto, T.; Iwata, Y.; Shiono, T. (2016). Influences of feedstock and pyrolysis temperature on the nitrate adsorption of biochar. *Soil Science and Plant Nutrition*. 62 (2), 180-184.
- Kanthle A.K.; Lenka N.K.; Lenka S.; Tedia K. (2016). Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an Inceptisol of central India. *Soil and Tillage Research*. 157, 65–72.
- Kavitha, B.; Pullagurala Venkata, L.R.; Kim, B.; Lee, S.S.; Kumar Pandey, S.; Kim, K.H. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*. 227, 146-154. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.082.
- Laird, D.A.; Fleming, P.; Davis, D.D.; Horton, R.; Wang, B.; Karlen D.L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of atypical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3), 443-449. Doi: 10.1016/j. *Geoderma* (3), 443-449. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.05.013.



- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 381-387. Recuperado el 20 de febrero de 2019, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.183.1106&rep=rep1&type=pdf>
- Lehmann J., Matthias C. Rillig, Janice Thies, Caroline A. Masiello, William C. Hockaday, David Crowley. (2011). "Biochar effects on soil biota- a review". *Soil Biology and Biochemistry*. 43 (2011), 1812- 1836.
- Liu, J.; Schulz, H.; Brandl, S.; Miehtke, H.; Huwe, B.; Glaser, B. (2012). Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 698–707. doi: 10.1002/jpln.201100172
- Major J.; Rondon M.; Molina, D.; Riha, S.J.; Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil* 333(2010), 117–128.
- MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego). (2018). Análisis de la cadena productiva del cacao con enfoque en los pequeños productores de limitado acceso al mercado. Recuperado de [http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia\\_plantas/f01-cultivo/2018/cadena\\_cacao\\_nov188.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/f-taxonomia_plantas/f01-cultivo/2018/cadena_cacao_nov188.pdf)
- Morales, O.; Borda, A.; Argandoña, A.; Farach, R; García Naranjo, L.; Lazo, K. (2015). La alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. 1 ed. Lima, Perú, Ada Ampuero. 182 p. (Serie Gerencia para el Desarrollo; 49). Recuperado el 15 de febrero de 2019, de [https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/111/Gerencia\\_para\\_el\\_desarrollo\\_49.pdf](https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/111/Gerencia_para_el_desarrollo_49.pdf)
- Motamayor J.C.; Lachenaud P.; da Silva e Mota JW.; Looor R.; Kuhn DN.; *et al.* (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.) PLoS ONE (3), e3311. doi: 10.1371/journal.pone.0003311
- Quintana Fuentes, L.F.; Gómez Castelblanco, S.; García Jerez, A.; Martínez Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones

CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(1), 252-265. <https://doi.org/10.22490/21456453.1284>

Quiñones M.; Espinoza E.; Yovera F.; Cuchilla Y.; Castro D. (2018). Identificación, georreferenciación y caracterización morfológica de árboles superiores de *Theobroma cacao* L. 1753 cultivar cacao blanco de Piura, Perú. *The Biologist* 16(1), 105-117. doi:10.24039/rtb2018161225

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <https://www.R-project.org/>.

Rondon, M.A.; Lehmann, J.; Ramírez, J.; Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43, 699–708. doi: 10.1007/s00374-006-0152-z

Rouquerol, F.; Rouquerol, J.; Sing, K. (1999). Adsorption by active carbons. adsorption by powders and porous solids, 237–285. doi: 10.1016/B978-012598920-6/50010-5

Rusinamhodzi, L.; Hauser, S.; Vasquez Zambrano, E. (2020). Satellite trials management and measurement protocol. Version 1, CocoaSoils Program. pp 29. [www.cocoasoil.org](http://www.cocoasoil.org).

Schulz, H.; Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 175, 410–422. doi: 10.1002/jpln.201100143.

SEPA (Serie de Estadísticas de Producción Agrícola). (2018). [en línea]. Recuperado de [http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta\\_cult](http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult)

Sereno M.L.; Albuquerque P.S.B.; Vencovsky R.; Figueira A. (2006). Genetic diversity and natural population structure of cacao (*Theobroma cacao* L.) from the Brazilian Amazon evaluated by microsatellite Markers. *Conservation Genetics* 7, 13–24. doi: 10.1007/s10592-005-7568-0

- Steiner, C.; Keshav, C.D.; Garcia, M.; Forster, B.; Zech, W. (2008). "Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol". *Pedobiologia* 51, 359-356.
- Tasi, H.; Barbagelata, P.; Schulz, G.; Paz González, A. (2010). Índices de productividad específico para maíz como potencial predictor del rendimiento y su variabilidad. Grupo de Recursos Naturales y Factores Abióticos. INTA EEA Paraná. Facultad de Ciencias-UDC, España. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-act-tecnica-n2\\_02\\_indices-productividad-especifico-pa.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-act-tecnica-n2_02_indices-productividad-especifico-pa.pdf)
- Thomas, E.; Van Zonneveld, M.; Loo, J.; Hodgkin, T.; Galluzzi, G.; Van Etten, J. (2012). Present Spatial Diversity Patterns of *Theobroma cacao* L. in the Neotropics Reflect Genetic Differentiation in Pleistocene Refugia Followed by Human-Influenced Dispersal. *PLoS ONE* 7(10), 10-15, e47676. doi: 10.1371/journal.pone.0047676
- Tian X.; Li C.; Zhang M.; Wan Y.; Xie Z.; Chen B.; *et al.* (2018). Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PLoS ONE* 13(1), e0189924. doi: 10.1371/journal.pone.0189924
- Trupiano, D.; Cocozza, C.; Baronti, S.; Amendola, C.; Vaccari, F.P.; Lustrato, G.; Di Lonardo, S.; Fantasma, F.; Tognetti, R.; Scippa, G.S. (2017). The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy*. 2017, 1- 12. doi:10.1155/2017/3158207
- Uzoma, K.; Inoue, M.; Andry, H.; Fujimaki, H.; Zahoor, A.; Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil use and Management*. 27, 205–212. doi: 10.1111/j.1475- 2743.2011.00340
- Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K.Y.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. (2009). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*. 327, 235-246. doi: 10.1007/s11104- 009-0050-x.
- Vera Chang, J.; Torres, C.; Morán, D.; Véliz, J.; Ramos Remache, R.; Rodríguez, W. (2015). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince

- clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. doi: 7. 21-34. 10.18779/cyt.v7i2.99.
- Vignati, F. (2017). ¿Por qué un Observatorio Regional de Cacao? Observatorio del cacao fino y de aroma para América Latina;1, Caracas: CAF. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1111>
- Yanai, Y.; Toyota, K.; Okazaki, M. (2007). Effects of charcoal on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science Plant Nutrition*. 53, 181-188. doi:10.1111/j.1747-0765.2007.00123.x
- Yao Y.; Gao B.; Zhang M.; Inyang M.; Zimmerman A.R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89, 1467–1471. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.06.002 PMID: 22763330
- Zhang D, Arevalo-Gardini E, Mischke S, Zúñiga-Cernades L, Barreto-Chavez A, *et al.* (2006). Genetic diversity and structure of managed and semi-natural populations of cocoa (*Theobroma cacao* L) in the Huallaga and Ucayali Valleys of Peru. *Annals of botany* 98, 647–655. doi: 10.1093/aob/mcl146
- Zhang, D.; Pan, G.; Wu, G.; Kibue, G.W.; Li, L.; Zhang, X.; Zheng, J.; Zheng, J.; Cheng, K.; Joseph, S.; Liu, X. (2016). Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere* 142, 106-113. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.088.
- Zheng, H.; Wang, Z.; Deng, X.; Herbert, S.; Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*. 206: 32-39. Zheng, H.; Wang, Z.; Deng, X.; Herbert, S.; Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*. 206, 32-39. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.04.018
- Zong, Y.; Chen, D.; Lu, S. (2014). Impact of biochar on swell- shrinkage behavior mechanical strength, and Surface cracking of clayey soil. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*. 177, 920-926. doi:10.1002/jpln.201300596.

## **VIII. ANEXOS**



**Anexo 2:** Resultado de los análisis de caracterización de suelo

ANÁLISIS DE SUELO CARACTERIZACIÓN																							
Solicitante		: KARINA LISETH ARANGO LEDESMA																					
Departamento:		PIURA										Provincia:		PIURA									
Distrito		: LASLOMAS										Predio		:									
Referencia		: H.R. 68003-054C-19										Bolt.:2879		Fecha		: 05/02/19							
Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases			
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>						
												meq/100g											
3447	1 muestra LS1	5.84	1.25	0.00	1.1	25	192	32	30	38	Fr.Ar.	28.8	18.16	9.63	0.63	0.28	0.1	28.8	28.7	100			
3448	2 muestra LS2	5.6	1.38	0.00	1.2	22.1	173	38	24	38	Fr.Ar.	30.4	18.63	10.75	0.66	0.21	0.15	30.4	30.25	100			
3449	3 muestra LS3	5.81	1.51	0.00	1.2	23.9	202	28	30	42	Ar.	34.72	20.94	12.57	0.79	0.27	0.15	34.72	34.57	100			
3450	4 muestra LS4	5.77	1.26	0.00	1.43	22.7	170	36	26	38	Fr.Ar.	30.72	18.37	11.45	0.59	0.21	0.1	30.72	30.62	100			
3451	5 muestra LS5	5.89	1.24	0.00	1.43	16.9	173	36	26	38	Fr.Ar.	32.64	21.30	9.82	0.67	0.34	0.10	32.23	32.13	98			
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso																							
<i>Dr. Sady García Bendejú Jefe del Laboratorio</i>																							

**Anexo 3:** Tamaño de mazorca (>9 cm) para realizar el conteo del Índice de cosecha



**Anexo 4:** Cartilla de evaluación para cada cosecha durante la campaña

Fecha	Código del árbol	# de mazorcas SANAS			# de mazorcas DAÑADAS			Obs.
		Abajo	Arriba	Total/árbol	Enfermas	Ardilla	Total/árbol	
Bloque								
Bloque								



## Anexo 5: Supuestos y análisis de varianza del peso fresco

### Supuestos

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.36
Homogeneidad de varianzas (Bartlett)	0.66

### Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F-cal	p-valor
Tratamiento	13	2 579	198..4	1.001	0.455
Residuales	125	24 780	198.2		

## Anexo 6: Prueba de comparación de Duncan para la variable peso fresco

N	Tratamiento	Media	Prueba de Duncan
1	Testigo	79.1	ab
2	Fert	84.7	ab
3	H+F	70.7	b
4	LB	89.7	a
5	LB+0.5F	80.0	ab
6	LB+F	81.6	ab
7	B	83.0	ab
8	B+0.5F	85.2	ab
9	B+F	76.1	ab
10	7B+F	79.0	ab
11	15B+F	81.0	ab
12	30B+F	78.6	ab
13	60B+F	81.8	ab
14	30B	82.2	ab

## Anexo 7: Supuestos y análisis de varianza del peso seco

### Supuestos

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.98
Homogeneidad de varianzas (Bartlett)	0.72

### Análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	MC	F-cal	p-valor
Tratamiento	13	479	36.83	0.92	0.534
Residuales	125	5003	40.02		

## Anexo 8: Prueba de comparación de Duncan para la variable peso seco

N	Tratamiento	Media	Prueba de Duncan
1	Testigo	33.3	ab
2	Fert	35.0	ab
3	H+F	29.4	b
4	LB	36.9	a
5	LB+0.5F	33.5	ab
6	LB+F	34.6	ab
7	B	35.7	ab
8	B+0.5F	36.0	ab
9	B+F	31.5	ab
10	7B+F	33.7	ab
11	15B+F	33.6	ab
12	30B+F	32.4	ab
13	60B+F	33.9	ab
14	30B	34.0	ab

## Anexo 9: Supuestos y análisis de varianza del número de granos

### Supuestos

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	6.3e-09
Homogeneidad de varianzas (Bartlet)	0.72

### Prueba de Kruskall Wallis

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	15.749	13	0.26	n.s.

## Anexo 10: Supuestos y análisis de varianza para número de mazorcas contabilizadas a inicios de campaña

### Supuestos

Prueba	p-valor 2019
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.02
Homogeneidad de varianzas (Fligner)	0.79

### Prueba de Kruskall Wallis

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	14.37	13	0.51	n.s.

**Anexo 11:** Supuestos y análisis de varianza para número de mazorcas de la cosecha real

## Supuestos

Prueba	p-valor 2019
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.06
Homogeneidad de varianzas (Bartlett)	0.82

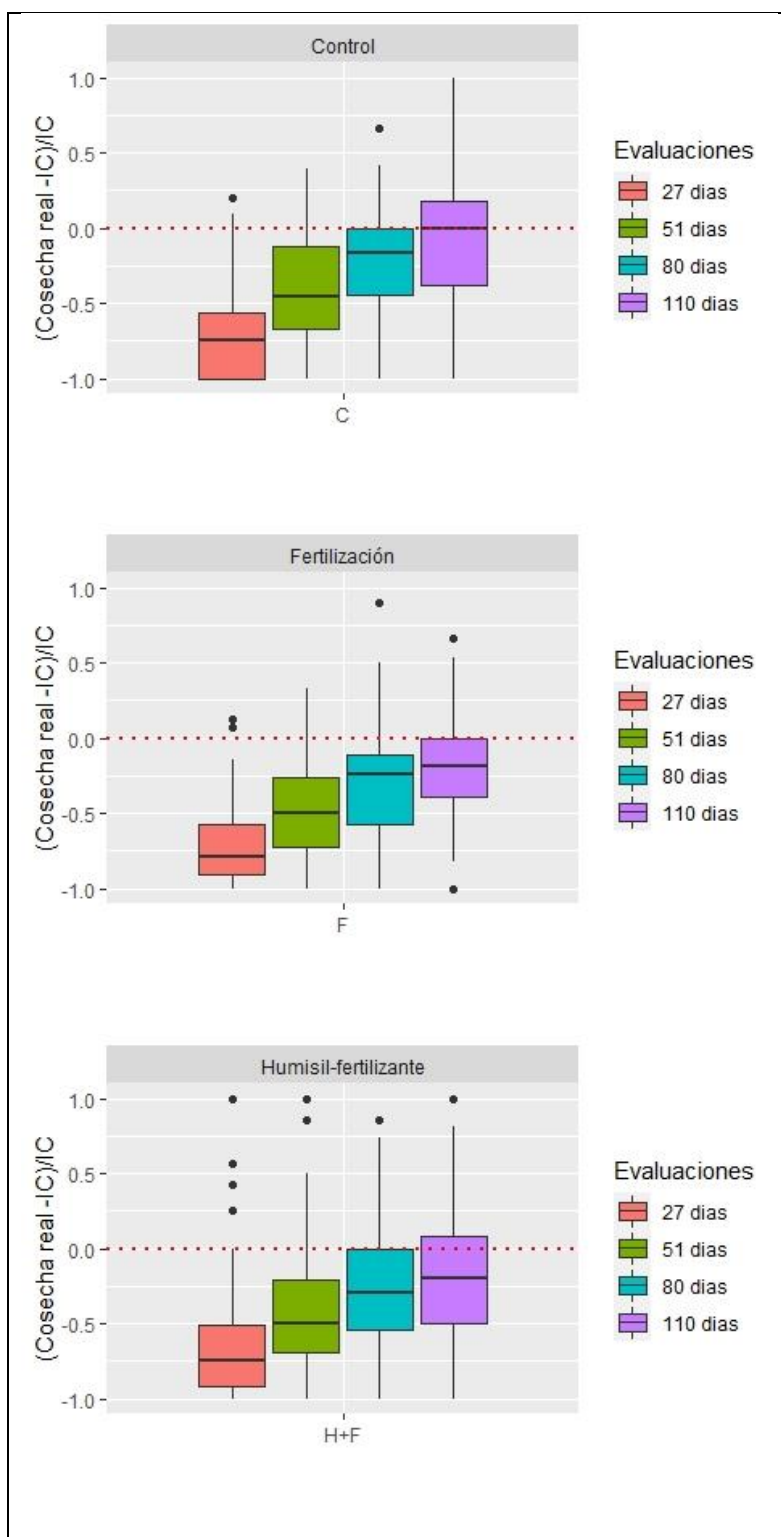
## Análisis de varianza

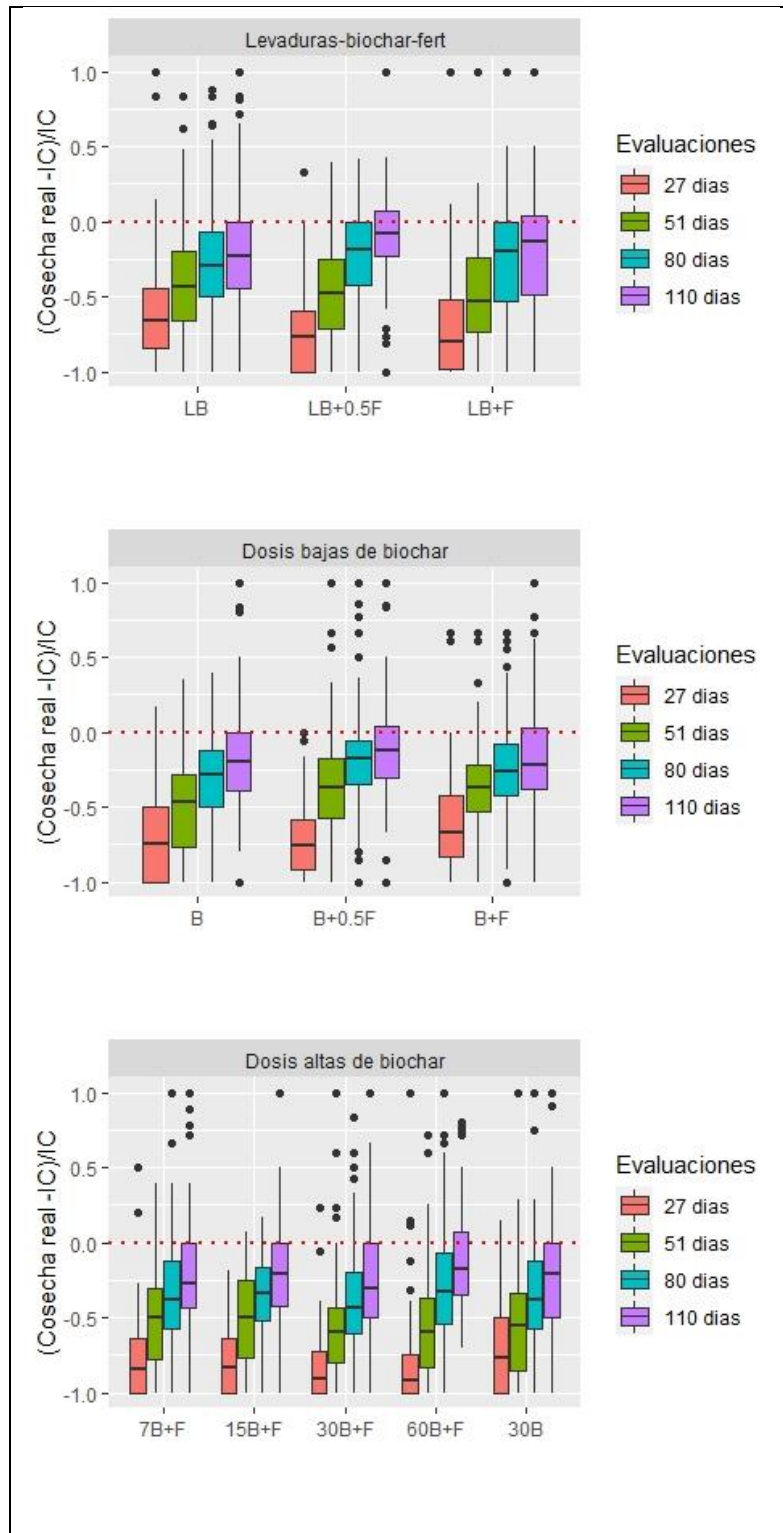
Año	Fuentes de variación	GL	SC	MC	F-cal	P- valor	sig.
2019	Tratamiento	13	25 031	1 926	1.18	0.30	n.s
	Residuales	125	203 855	1 631			

**Anexo 12:** Prueba de comparación de Duncan para la variable número de mazorcas de la cosecha real

N	Tratamiento	Media 2019	Prueba de Duncan
1	Testigo	114	ab
2	F	109	ab
3	H+F	100	ab
4	LB	106	ab
5	LB +0.5F	122	ab
6	LB+F	103	ab
7	B	89	b
8	B+0.5F	126	ab
9	B+F	107	ab
10	7B+F	114	ab
11	15B+F	116	ab
12	30B+F	106	ab
13	60B+F	138	a
14	30B	85	b

**Anexo 13:** Distribución de las mazorcas cosechadas en el 2019 que indica la precisión del índice de cosecha (línea roja) y la cosecha real





**Anexo 14:** Supuestos y prueba de Kruskall Wallis del índice de semilla

**Supuestos**

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.01
Homogeneidad de varianzas (Bartlett)	0.33

**Prueba de Kruskall Wallis**

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	16.47	13	0.22	n.s.

**Anexo 15:** Supuestos y prueba de Kruskall Wallis del índice de mazorca

**Supuestos**

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.0001
Homogeneidad de varianzas (Fligner-Killeen)	0.80

**Prueba de Kruskall Wallis**

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	13.78	13	0.38	n.s.

**Anexo 16:** Supuestos y prueba de Kruskall Wallis de los kilogramos por árbol del IC

**Supuestos**

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.007
Homogeneidad de varianzas (Fligner-Killeen)	0.95

### Prueba de Kruskall Wallis

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	12.23	13	0.50	n.s.

**Anexo 17:** Supuestos y prueba de Kruskall Wallis para la variable número de mazorcas producidas en promedio por árbol de la cosecha real

### Supuestos

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	5.05e-05
Homogeneidad de varianzas (Fligner-Killeen)	0.97

### Prueba de Kruskall Wallis

Fuente de variación	Chi-cuadrado	GL	p-valor	sig.
Tratamiento	12.609	13	0.47	n.s.

**Anexo 18:** Supuestos y ANOVA de los kilogramos por árbol de la cosecha real

### Supuestos

Prueba	p-valor
Normalidad (Lilliefors-Kolmogorov-Smirnov)	0.09
Homogeneidad de varianzas (Bartlett)	0.12

### Análisis de varianza

Fuentes de variación	GL	SC	MC	F-cal	P-valor	sig.
Tratamiento	13	0.39	0.03	0.91	0.54	n.s.
Residuales	125	4.16	0.03			



**Anexo 19:** Análisis de regresión lineal y correlación de Pearson para las variables número de mazorcas del IC y la CR en el 2019

	Estimado	Error std.	t-valor	Pr(> t )	sig.
Intercepto	7.720	5.478	1.409	0.161	
IC	0.780	0.039	19.646	<2e-16	***
---					
Significancia:	0 ‘***’	0.001 ‘***’	0.01 ‘*’	0.05 ‘.’	0.1 ‘ ’
---					
Error estándar residual:	20.92				
R-cuadrado múltiple:	0.738	R-cuadrado ajustado	0.7361		
---					
Correlación de Pearson:	0.86				

**Anexo 20:** Rendimiento de la parcela de los últimos tres años

Año	Rendimiento (kg/ha)
2016	709.2
2017	715.7
2018	714.28
Promedio	713.06

**Anexo 21:** Modelo lineal generalizado de las variables pendiente, pH y sombra

Fórmula: Rendimiento en kg/ha del IC ~ Pendiente + pH + Sombra

Coeficientes	Estimate	Error Std.	z value	Pr(> z )	sig.
Intercepto	6.5453216	0.0779473	83.971	2.00E-16	***
pH	0.0232612	0.0086228	2.698	6.98E-03	**
Pend	0.0049016	0.0013832	3.544	0.000395	***
Sombra	-0.0036255	0.0006622	-5.475	4.37E-08	***

Valor no significativo para 0.05 (n.s)

**Anexo 22:** Datos hidrometeorológicos de la zona durante el ensayo

Año	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)
	Max	Min	
Ago-18	31.55	16.92	70.75
Set-18	33.07	16.71	67.99
Oct-18	32.20	17.69	68.92
Nov-18	33.00	19.20	67.45
Dic-18	33.30	20.49	67.37
Ene-19	34.15	22.36	68.64
Feb-19	32.5	22.98	83.52
Mar-19	32.54	22.43	79.30
Abr-19	33.16	21.03	73.68
May-19	32.12	20.05	74.62
Jun-19	31.48	17.98	67.95
Jul-19	30.79	16.39	69.84
Ago-19	30.5	15.72	71.35
Set-19	31.36	15.94	70.24
Oct-19	31.46	16.61	69.83
Nov-19	32.05	18.41	69.16
Dic-19	33.19	20.35	66.11
Ene-20	34.97	22.11	63.04
Feb-20	35.42	23.09	63.42