



UNAP



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

TESIS

**“EFECTOS DE VARIEDADES Y DENSIDADES SOBRE LA
EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA Y CAPTURA DE CARBONO EN
Vigna unguiculata “Caupí” EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
“SAN ROQUE”, IQUITOS, PERÚ - 2019”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
ELOISA BELEN PINEDO CURITIMA**

**ASESORES:
Ing. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
Ing. JORGE ENRIQUE PÉREZ ARIRAMA, Dr.**

IQUITOS, PERÚ

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNAP

FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°016-CGYT-FA-UNAP-2020

En Iquitos, mediante la plataforma virtual de Google Meet, a los 07 días del mes de agosto del 2020, a horas 03:00 p.m., se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: “EFECTOS DE VARIEDADES Y DENSIDADES SOBRE LA EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA Y CAPTURA DE CARBONO EN *Vigna unguiculata* “Caupi” EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL “SAN ROQUE”, IQUITOS, PERÚ - 2019”, aprobado con Resolución Decanal N°027-CGYT-FA-UNAP-2019, presentado por la Bachiller **ELOISA BELEN PINEDO CURITIMA**, para optar el Título Profesional **DE INGENIERO (A) AGRÓNOMO** que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal **N°019-CGYT-FA-UNAP-2020**, está integrado por:

Ing. RAFAEL CHÁVEZ VÁSQUEZ, Dr.
Ing. OMAR CUBAS ENCINAS, Dr.
Ing. JULIO PINEDO JIMÉNEZ, M.Sc.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

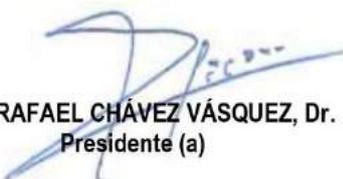
SATISFACTORIAMENTE.

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La Sustentación pública y la Tesis han sido **APROBADO** con la calificación de **BUENA**.

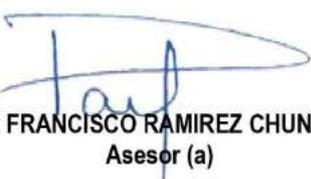
Estando la Bachiller **APTA** para obtener el Título Profesional de **INGENIERO (A) AGRÓNOMO**.

Siendo las **5:00 p.m.** se dio por terminado el acto **ACADÉMICO**.


Ing. RAFAEL CHÁVEZ VÁSQUEZ, Dr.
Presidente (a)


Ing. OMAR CUBAS ENCINAS, Dr.
Miembro


Ing. JULIO PINEDO JIMÉNEZ, M.Sc.
Miembro


Ing. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
Asesor (a)


Ing. JORGE ENRIQUE PÉREZ ARIRAMA, Dr.
Asesor (a)

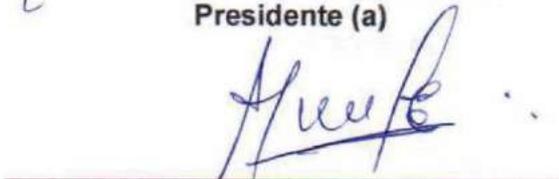
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

Tesis aprobada en sustentación pública el día 07 de agosto del 2020, mediante la plataforma virtual Google Meet por el jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos, para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÓNOMO



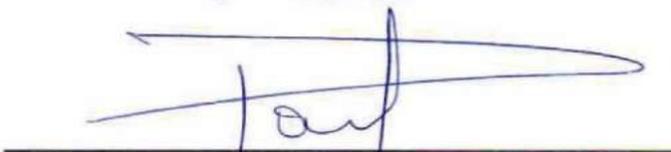
ING. RAFAEL CHÁVEZ VÁSQUEZ, Dr.
Presidente (a)



ING. OMAR CUBAS ENCINAS, Dr.
Miembro



ING. JULIO PINEDO JIMÉNEZ, M.Sc.
Miembro



ING. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, Dr.
Asesor



ING. JORGE ENRIQUE PÉREZ ARIRAMA, Dr.
Asesor



ING. FIDEL ASPAÑO VARELA, M.Sc.
Decano



DEDICATORIA

A mi hijo **ADRIANO D' ALESSANDRO**, que es el verdadero aliento de superación y valentía que necesito para crecer como persona y profesionalmente.

A mis **padres y hermana**, que siempre estuvieron presentes brindándome el respaldo necesario.

A mi apreciada familia, por creer en mí deseo de superación, por sus consejos de cada de uno de ellos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud y sabiduría durante mi proceso de formación profesional.

A los asesores Dr. JULIO ABEL SOPLIN RIOS; Dr. JORGE PEREZ ARIRAMA y Dr. JOSE FRANCISCO RAMIREZ CHUNG, por la confianza puesta en mi persona para el desarrollo de este trabajo de investigación que será de mucha ayuda para el campesinado y desarrollo regional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESORES	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas.....	9
1.3. Definición de términos básicos.....	13
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	18
2.1. Formulación de la hipótesis.....	18
2.2. Variables y su operacionalización.....	18
2.2.1. Identificación de las variables.....	18
2.2.2. Operacionalización de las variables.....	20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	21
3.1. Tipo y diseño metodológico.....	21
3.1.1. Tipo de investigación.....	21
3.1.2. Diseño de estudio.....	21
3.2. Diseño muestral.....	21
3.2.1. Población universo.....	21
3.2.2. Muestra de estudio.....	21
3.2.3. Técnicas de muestreo.....	22
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.3.1. Ubicación del experimento.....	22
3.3.2. Materiales.....	23
3.3.3. Características de los tratamientos, bloques y parcelas.....	23
3.3.4. Conducción de campo del experimento.....	24
3.3.5. Datos recolectados.....	25

3.3.6. Características agronómicas evaluadas	26
3.4. Procesamiento y análisis de los datos.	28
3.5. Aspectos éticos.....	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	30
4.1. Eficiencia fotosintética y captura de carbono de la parte aérea de la planta de Caupí.	30
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	38
5.1. Eficiencia fotosintética y captura de carbono de la parte aérea de la planta de Caupí.	38
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	46
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES.....	47
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	48
ANEXOS.....	51
Anexo 1. Eficiencia fotosintética (en porcentaje %) para variedades y densidades en Caupí 2019.....	52
Anexo 2. Eficiencia fotosintética (%) - Transformada a Raíz Cuadrada % del arco seno - para variedades y densidades en Caupí 2019	52
Anexo 3. Captura de carbono tm/ha - para variedades y densidades en Caupí de la parte aérea de la planta 2019	52
Anexo 4. Altura de planta (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019	53
Anexo 5. Largo de vaina (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019.....	53
Anexo 6. Ancho de vaina (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019.....	53
Anexo 7. Peso de 100 granos (g) para variedades y densidades en Caupí 2019	54
Anexo 8. Número de granos por vainas para variedades y densidades en Caupí 2019.....	54
Anexo 9. Número de granos por vainas- Datos transformados a la raíz cuadrada de x para variedades y densidades en Caupí 2019.....	54
Anexo 10. Rendimiento de grano (tm/ha) para variedades y densidades en Caupí 2019.....	55
Anexo 11. Instrumento de recolección de datos de campo en el experimento de variedades y densidades en Caupí – año.....	55
Anexo 12. Croquis del área experimental	56
Anexo 13. Análisis de caracterización del suelo	57
Anexo 14. Datos meteorológicos registrados durante el experimento – año 2019	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis de varianza de variedades y densidades para la eficiencia fotosintética (%) – datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y captura de carbono (tm/ha) de la parte aérea en el cultivo del Caupí 2019.	30
Tabla 2. Prueba de Tukey de variedades y densidades para la eficiencia fotosintética (%) - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y captura de carbono (tm/ha) de la parte aérea del factor variedad en el cultivo del Caupí – 2019.....	31
Tabla 3. Prueba de Tukey de variedades y densidades para la eficiencia fotosintética (%) - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y captura de carbono (tm/ha) de la parte aérea del factor densidad en el cultivo del Caupí – 2019.....	33
Tabla 4. Análisis de varianza de efectos simples de las variedades y las densidades para eficiencia fotosintética (%) - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % en el cultivo del Caupí – 2019.	35
Tabla 5. Análisis de varianza de efectos simples de las variedades y las densidades para captura de carbono en el cultivo del Caupí – 2019.	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Efectos simples para eficiencia fotosintética (%) del factor variedad en el cultivo del Caupí 2019.	32
Gráfico 2. Efectos simples para captura de carbono (t/ha) del factor variedad en el cultivo del Caupí 2019.....	32
Gráfico 3. Efectos simples para eficiencia fotosintética (%) del factor densidad en el cultivo del Caupí 2019.	34
Gráfico 4. Efectos simples para captura de carbono (t/ha) del factor densidad en el cultivo del Caupí 2019.....	34
Gráfico 5. Eficiencia fotosintética (%) de la interacción variedad y densidad en el cultivo del Caupí 2019.....	37
Gráfico 6. Captura de carbono (t/ha) de la interacción variedad y densidad en el cultivo del Caupí 2019.....	37

RESUMEN

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la variedad y densidad óptima, para incrementar la eficiencia fotosintética y captura de carbono en el cultivo *Vigna unguiculata*- Caupí en el año 2019. El método de estudio fue científico y experimental, teniendo nueve tratamientos de estudios que fueron analizados en un factorial de tres por tres, incluidos en un diseño de bloque completo al azar. La eficiencia fotosintética el mayor valor lo reporta la variedad castilla con 0.53% y para el factor densidad, esta misma variedad con 187 000 plantas/ha; ambos factores presentan alta diferencia estadísticas significativas. La interacción de la variedad castilla sembrada en densidad de 187 500 plantas/ha obtuvo 0.64%, pero sin diferencia estadística significativa. En captura de carbono se encuentra alta diferencia estadística, para la fuente de variación variedad y densidad; la castilla obtuvo 1.18 tm/ha, en cambio para la densidad esta misma variedad sembrada a 187 500 plantas / ha obtuvo 1.27 tm/ha. Para el carácter altura de planta, no se encuentra diferencia estadística significativa entre los promedio estudiados. En largo de vaina, la variedad San Roque obtiene el mayor valor de 19.74 cm y la interacción de la variedad san roque sembrada a 150 000 plantas/ha, logra el mayor valor de 20.68 cm, ambos factores presentan diferencia estadística significativa. Para el ancho de vainas la variedad san roque alcanza 0.99 cm, la misma que es estadísticamente significativa con respecto con otras variedades. En peso de 100 granos, no se encuentra diferencia estadística significativa entre los promedios estudiados. Para el carácter número granos de vainas se halla alta diferencia estadística significativa para variedad teniendo que la san roque adquiere el mayor valor 17.55 y, para la interacción variedad san roque sembrada a 125 000 plantas/ha logra 17.97 granos por vaina.

Palabras claves: Eficiencia fotosintética, Captura de carbono, Variedades y densidades en Caupí y caracteres agronómicos.

ABSTRACT

This test was carried out with the aim of determining the optimal variety and density, to increase photosynthetic efficiency and carbon capture in the *Vigna unguiculata*-Caupí crop in 2019. The study method was scientific and experimental, having nine study treatments that were analyzed in a three-by-three factorial, included in a randomized complete block design. The photosynthetic efficiency the highest value is reported by the castilla variety with 0.53% and for the density factor, this same variety with 187 000 plants/ha; both factors have significant statistical differences. The interaction of the cassaf variety planted in density of 187 500 plants/ha obtained 0.64%, but without significant statistical difference. In carbon capture high statistical difference was found, for the source of variation variety and density; the castile obtained 1.18 tm/ha, instead for the density this same variety planted at 187 500 plants / has obtained.

For the plant height character, no significant statistical difference was found between the averages studied. In long sheath, the variety San Roque obtained the highest value of 19.74 cm and the interaction of the variety san roque planted at 150 000 plants / ha, obtained the highest value of 20.68 cm, both factors have significant statistical difference. For the width of pods was obtained the variety san roque with 0.99 cm, the same which was statistically significant with respects with other varieties. In weight of 100 grains, no significant statistical difference was found between the averages studied. For the character number of pod sheath grains was found high significant statistical difference for variety having that the san roque obtained the highest value 17.55 and, for the interaction variety san roque planted to 125 000 plants / has obtained 17.97 grains per pod.

Keywords: Photosynthetic efficiency, Carbon capture, Varieties and densities in Caupí and Agronomic characters in Caupí.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las variedades de Caupí (*Vigna unguiculata*) existentes en la localidad perdieron o están en vías de pérdida de su potencial genético y las densidades que se utilizan en su siembra en los campos de cultivo parecen no estar acorde en los arreglos espaciales de las variedades; motivo por el cual se reportan bajos rendimiento de grano y afecta otras características agronómicas que determinan la producción del fruto; así como el poco aprovechamiento en la descontaminación del medio ambiente mediante esta especie vegetal; asimismo la recuperación de los suelos mediante la fijación biológica del nitrógeno atmosférico.

Los principales contaminantes del aire, en su estado gaseoso, aparecen en diferentes concentraciones y los más comunes son el dióxido de carbono – CO_2 -, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono.

El dióxido de carbono – CO_2 - es un gas que se forma en la combustión de todo combustible, por oxidación de los átomos de carbono. La fuente principal son los organismos vivos lo emiten como producto final de la oxidación de azúcares y otros compuestos orgánicos que contienen carbono.

Según, **Dixon et al**¹, en su investigación sobre el flujo y captura de carbono en ecosistemas arbóreos en el 1994, encontraron que el CO_2 existe naturalmente y aumenta por toda la actividad humana y animal, desde nuestra propia respiración. Además, que la concentración de CO_2 en la atmósfera está aumentando de forma constante de 0.030% a 0.037% debido al uso de carburantes fósiles (petróleo, gas, etc.) como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra (de 0.5°C/ cada 10 años).

En la región Loreto; en el manejo de la producción de los cultivos, la aplicación de variedades y técnicas agrícolas no adecuadas conduce a la baja eficiencia fotosintética y a la vez no se cuenta con referencia académica cuantitativamente sobre la eficiencia fotosintética y el volumen de captura de carbono por las especies anuales como el caupí (*Vigna unguiculata*) u otras variedades de esta especie vegetal.

Con lo referido el problema central identificado es que la siembra de variedades con diferentes densidades no interaccionan funcionalmente con la producción del cultivo del caupí, obteniendo por lo tanto, baja eficiencia fotosintética y menor captura de carbono, siendo ambas variables determinantes en el rendimiento de grano y de la sostenibilidad armónica del equilibrio del CO₂ en el aire atmosférico.

Entonces el estudio es para determinar la variedad y la densidad óptima, para obtener incremento en la eficiencia fotosintética y la captura de carbono, en el cultivo de *Vigna unguiculata* – “Caupí”.

La investigación realizada se justifica: primero porque es necesario que en la localidad, se cuente con variedades y densidades que al sembrarse, originen el rendimiento de grano en cantidades deseadas para el agricultor para incrementar sus ingresos económicos y; segundo, porque las plantas verdes, mediante el proceso fotosintético, utilizan como materia prima el CO₂, por ello constituye un sumidero importante para la reducción de este gas contaminante del aire atmosférico. Pero la fotosíntesis de las plantas no logra absorber su creciente producción – CO₂ - por lo cual es importante plantear alternativas para reducir y controlar este desequilibrio, mediante la siembra de especies vegetales alimenticias de corto período.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes.

Según, **Toth et al (2002)**², en su experimento del nitrógeno en la actividad fotosintética y ciclo de la xantofila en el rendimiento del maíz en el 2002, encontraron que cada especie de planta absorbe determinada cantidad de CO₂; es decir unas son más eficientes que otras. El CO₂ es fijado en sus raíces, tronco, hojas y frutos en forma de hidrato de carbono.

Conforme a **Lattanzi et al (2004)**³, en su experimento sobre fuentes de carbono y nitrógeno para mejorar el crecimiento foliar, en el año 2004, encontraron que la cantidad de CO₂ fijado por los bosques tropicales, también es variable; por decir la mayor parte del dióxido de carbono – CO₂-, aproximadamente, un tercio (34 %) es absorbido por las plantas en los bosques tropicales; y entre las especies forestales del trópico más eficientes son el pino y el piñonero, que absorben 48.870 y 27.180 kilos de CO₂ al año. Además, un kilómetro cuadrado de bosque genera mil toneladas de oxígeno al año; una hectárea arbolada urbana produce al día el oxígeno que consumen seis personas y un árbol de unos 20 años absorbe anualmente el CO₂ emitido por un vehículo que recorre de 10.000 a 20.000 kilómetros. En resumen, se conoce que las plantas de trópico absorben carbono en cantidades que van desde 123,000 millones (1,23 x 10¹¹ t de C/año) hasta 200,000 millones (2,00 x 10¹¹ t de C/año) de toneladas de carbono por año;

De acuerdo a, **Stephens (2006)**⁴, en su investigación sobre un creciente interés en la captura de carbono y almacenamiento para la mitigación del cambio climático, en el año 2006; indica que para esto es necesario incrementar la fotosíntesis neta por área de hoja. Es decir, habrá que lograr un aumento en la fotosíntesis neta por hoja. Para lograr una mayor captación de CO₂ fijado por la

planta, se proponen algunas estrategias relacionadas con el proceso fotosintético como son: el aumentar la tasa de fotosíntesis neta; aumentar la actividad de la enzima **rubisco** (C-3) - Ribulosa bi fosfato- que es la variable interna de mayor influencia sobre el aumento de fijación de CO₂ y; en plantas C-4 (como es el caso del Caupí) evaluar la actividad de la enzima PEP carboxilasa (Fosfoenol pirúvico).

Stephens (2006)⁴; señala que, en la actualidad, la emisión del CO₂ al ambiente es mucho más que el ambiente puede absorber y es por esto que lo llamamos "contaminante". En los Estados Unidos, por ejemplo, se emiten 6.6 toneladas de CO₂ por cada persona, cada año. La comunidad científica estima que el CO₂ es responsable del 50% al 60% del cambio climático global. El promedio mundial de emisiones de CO₂ en 2001 fue 3.9 ton por persona (Banco Mundial). Se necesitarían 1.5 ha por persona, plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO₂ de esta sola persona; y 9,000 millones de hectáreas para compensar temporalmente las emisiones de los 6,000 millones de habitantes en el mundo. Sin embargo, esto sería insuficiente, porque la población y las emisiones de CO₂ aumentan diariamente.

La producción de los cultivos depende de la intercepción de la radiación solar y de su conversión en biomasa. La cantidad de radiación incidente que es interceptada por el cultivo está determinada por el área foliar, por la orientación de la hoja y por su duración. El **índice del área foliar (LAI)** es importante para determinar la intercepción de la radiación hasta un valor cercano a **4** en el caso del maíz; después de este valor, el área adicional tiene poco efecto en la intercepción de la luz. La densidad de siembra es un factor determinante del LAI y de la intercepción de la radiación. Los cultivares de ciclo corto producen menos hojas para interceptar la radiación y requieren una mayor densidad de

plantas para llegar a un rendimiento óptimo comparados con los cultivares tardíos (**Stephens, 2006**⁴).

Conforme señala **Muchow (1994)**⁵ en su ensayo sobre el efecto del nitrógeno en la determinación del rendimiento de maíz de regadío en ambientes tropicales y subtropicales en el año 1994, que la cantidad total de radiación interceptada a lo largo de todo el período de cultivo depende del tiempo requerido para alcanzar la intercepción máxima (o LAI máxima, si el cultivo no cubre completamente la tierra) y también de la duración del área verde de la hoja. Los factores experimentales que reducen la expansión de la hoja son el déficit de agua y la baja disponibilidad de nutrimentos. Por ejemplo, la fracción de radiación total interceptada en el período de cultivo fue de 0,46 en el caso de un híbrido tropical cultivado en siete ambientes con bajo contenido de nitrógeno comparado con 0,60 en un tratamiento con alto contenido de nitrógeno; ambos cultivos tenían una población de 70 000 plantas /ha. Un cultivo con una LAI máxima de cerca de 2 interceptó solo 37% de la radiación que recibió durante la estación, y un cultivo con alto contenido de nitrógeno con una LAI máxima de 4,5 interceptó 58%. Después de la floración, el proceso de senescencia afecta la captura de la luz; la senescencia puede ser acelerada por enfermedades, estrés de agua, baja fertilidad y factores genéticos.

Con arreglo a lo indicado por **Norman et al (1995)**⁶, en su ensayo sobre la ecología de los cultivos alimenticios tropicales en el año 1995, dicen que ambos factores, **la especie y el ambiente**, tienen influencia directa sobre la eficiencia con la cual la radiación absorbida es utilizada (**eficiencia de conversión, CE**). El maíz presenta el proceso fotosintético C4, lo cual le proporciona el beneficio de la continua respuesta al incremento de la radiación hasta la plena luz con bajos niveles de foto-respiración. Estas características son sumamente adecuadas a las altas temperaturas y a las altas intensidades de luz que se

encuentran en las zonas tropicales. Otros factores ambientales con influencia sobre la CE son el agua y la disponibilidad de nutrimentos. Las tasas máximas de fotosíntesis en el maíz tropical se encuentran entre 30° y 40°C. El efecto de la temperatura sobre la CE en el rango de 20° a 40°C es relativamente pequeño, pero las temperaturas fuera del rango de adaptación del cultivar (por debajo de 15°C o por encima de 44°C para maíz tropical de tierras bajas) también pueden reducir la CE.

Muchow (1994)⁵, señala que la radiación diaria de onda corta en los trópicos varía de 10 Mj/m²/día en zonas nubosas a 25 Mj/m²/día en zonas semi-áridas durante la estación seca. Como se mencionó anteriormente, un maíz sin estrés sembrado a altas densidades puede interceptar alrededor de 55% del total de la radiación recibida en el período de cultivo. Se ha informado de eficiencias de conversión para cultivos de maíz sin estrés que van de 1,2 a 1,6 gramos de biomasa por encima de la superficie de la tierra por cada MJ (Mega-joule) de radiación solar interceptada

A juzgar por **Fisher y Palmer (1984)**⁷, en su ensayo sobre la fisiología de los cultivos tropicales, indican que bajo buenas condiciones, en zonas templadas y sin estrés, el maíz puede crecer a razón de 500 kg/ha/día durante varias semanas, resultando así en una alta productividad. En áreas tropicales con mayores temperaturas y días más cortos se han obtenido tasas de crecimiento de 250 a 350 kg/ha/día. Continúa señalando que los árboles absorben dióxido de carbono (CO₂) atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas. La cantidad de CO₂ que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono.

Stephen (2006)⁴; señala que aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto carbono (CO₂) captura el árbol durante toda su vida.

El **World Resources Institute–WRI**⁸, en la evaluación de proyectos de secuestro de carbono: un primer intento, en el 2001; advierte que los árboles absorben CO₂ a través de los poros en sus hojas. Y particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas. Asimismo apuntan que, una tonelada de carbono en la madera de un árbol o de un bosque, equivale a 3.5 toneladas aprox. de CO₂ atmosférico. Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 Kg. de carbono y 1575 Kg. de CO₂. Árboles maduros, plantados a distancia de 5 metros forman bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 Kg. de carbono, y 42% de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 Kg. En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea (400 x 714 x 42%). Al mismo tiempo anuncian que las estimaciones sobre captura de carbono durante 100 años oscilan entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir 100 ton de carbono capturado por hectárea, equivalente a 350 ton de CO₂ por hectárea en 100 años. Esto es una tonelada de carbono y 3.5 ton de CO₂ por año y por hectárea, sin tomar en cuenta la pérdida de árboles. Calculando la pérdida de árboles en 25% por hectárea. Entonces la captura de carbono es de 75 ton/ha equivalente a 2.6 ton de CO₂ por año y por hectárea.

Norman et al (1995)⁶, propone estimaciones sobre captura de carbono durante 100 años oscilan entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir 100 toneladas de carbono capturado por hectárea, equivalente a 350 toneladas de CO₂ por hectárea en 100 años. Esto es una tonelada de carbono y 3.5 toneladas de CO₂ por año y por hectárea, sin tomar en cuenta la pérdida de árboles. Calculando la pérdida de árboles en 25% por hectárea. Entonces la captura de carbono es de 75 t/ha, equivalente a 2.6 toneladas de CO₂ por año y por hectárea.

De acuerdo al **IPCC (2001b)**⁹, en el tercer informe de evaluación de cambio climático y mitigación del año 2001-b, estima que entre 60 y 87 GtC (gigatoneladas) podrían conservarse o captarse en los bosques para el año 2050, y que otras 23 a 44 GtC podrían obtenerse de suelos agrícolas. Actualmente se considera que las opciones de mitigación biológica son del orden de 100 GtC (acumuladas) para el año 2050, lo que representa entre el 10% y el 20% de las emisiones proyectadas de los combustibles de origen fósil durante ese período.

Siguiendo a **Tello y Flores (2010)**¹⁰, estudiaron el potencial del bosque y captura de carbono de llanura aluvial del río Nanay, Perú en el año 2010; para ello utilizaron datos de árboles con DAP \geq 10 cm colectados con el inventario forestal sistemático a 5,7% de intensidad de muestreo. La densidad básica de las especies fue recopilada del Laboratorio de Tecnología de Maderas de la UNAP y de diversos artículos científicos. En este bosque se encontraron 313,23 t/ha de biomasa y 156,62 t/ha de carbono; en las especies para aserrío se registraron 64,63 t/ha de biomasa y 32,31 t/ha de carbono; para leña y carbón 187,47 t/ha de biomasa y 94 t/ha de carbono. Las especies esciófitas junto a las de sotobosque aportaron 157,57 t/ha de biomasa; las heliófitas durables

146,02 y las heliófitas efímeras 8,29. Concluyendo que, este bosque es rico en biomasa y carbono que indica el gran potencial que tiene para el manejo sostenible.

Dixon et al (1994)¹; menciona que en los mecanismos para la captura de carbono se considera a los bosques como ecosistemas y no como árboles aislados, reconociendo el hecho de que el suelo del bosque contiene alrededor de dos tercios (2/3) del carbono en los ecosistemas forestales. En resumen, los sumideros terrestres de carbono se refieren al carbono contenido en los ecosistemas forestales (vegetación viva, materia orgánica en descomposición y suelo) y sus productos (maderables y no maderables, combustibles fósiles no usados, etc.). Asimismo, este autor, advierte que los flujos o emisiones de carbono se relacionan; también indica que la eficiencia fotosintética de las plantas, la mayor captura de CO₂ por parte de las plantas, aumenta al aumentar la concentración CO₂. Esto es lo que, técnicamente, se conoce como el **efecto fertilizante del CO₂**. Pero la realidad es que no sólo de CO₂ viven las plantas. Aunque el aumento de CO₂ inicialmente estimula el crecimiento, este argumento ignora que hay otros factores restrictivos del crecimiento asociados a un aumento del CO₂ que pueden tener un impacto mayor. A pesar de las incertidumbres, es fácil saber que cualquier hipotética respuesta fertilizante del CO₂ difícilmente compensaría una fracción significativa de los aumentos pronosticados de concentración de CO₂ para el próximo siglo.

1.2. Bases teóricas.

Velázquez et al (2002)¹¹, en su escrito análisis del cambio de uso del suelo, del año 2002, informa que se observa que el dióxido de carbono atmosférico (CO₂) es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma materia orgánica (biomasa-madera). El CO₂ regresa a la atmósfera

mediante la respiración de los árboles y las plantas, y por descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (oxidación). Además determina que para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo. Las prácticas para captura de carbono deben continuar, aún después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera.

Conforme a **Almeyara y Sánchez (2015)**¹² en su ensayo sobre “Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación de carbono”, del año 2015, indican que “La fotosíntesis oxigénica es un mecanismo bioquímico que usa agua, dióxido de carbono del aire (CO_2) y luz para formar carbohidratos y liberar oxígeno (O_2) a la atmósfera. Este mecanismo es vital para el planeta porque completa el ciclo global de intercambio gaseoso que ocurre entre los seres vivos. Es decir, mientras ciertos organismos (como nosotros los humanos) consumen O_2 y liberan CO_2 a la atmósfera, los organismos fotosintéticos (como plantas, algas y cianobacterias) realizan básicamente el proceso complementario en el que consumen CO_2 y liberan O_2 a la atmósfera. Entre los organismos fotosintéticos, algunos son más eficientes que otros; esto depende de la velocidad a la que las moléculas de CO_2 son capturadas y transformadas en los carbohidratos necesarios para desarrollar su biomasa. En este contexto, las plantas han logrado adaptaciones evolutivas sorprendentes para asegurar y optimizar el flujo del CO_2 hacia la síntesis de sus propios carbohidratos. A lo largo de este artículo, se explicarán algunas de estas

adaptaciones y se describirán varios intentos fascinantes que ha hecho el hombre para mejorar el proceso fotosintético de plantas de interés alimentario, con miras a incrementar sus rendimientos agrícolas”.

Conforme a **Jiménez et al (2018)**¹³, en su ensayo a cerca del “Secuestro y distribución de carbono orgánico del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de pasturas” del año 2018, encontraron que las plantas obtienen carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis. Los pastizales, debido a su gran extensión y diversidad, tienen un impacto significativo en la captura de carbono de la tierra y, potencialmente, pueden secuestrar grandes cantidades de carbono.

Stephen (2006)⁴; señala que plantas de **Alta Eficiencia Fotosintética**, son el maíz, caña de azúcar, sorgo, remolacha azucarera, etc.; porque en ellas el mecanismo de fijación del CO₂ y su posterior reducción en moléculas orgánicas involucra una vía diferente con otra Carboxilasa distinta a la Rudp (Ribulosa di fosfato), en estas plantas. En estas plantas el CO₂ no se fija directamente por la Rudp, sino lo hace por una carboxilasa distinta llamada "Fosfoenolpirúvico carboxilasa", en las células del Mesófilo, en síntesis, las plantas de C-3 utilizan una sola carboxilasa (Ribulosa1,5 di fosfato carboxilasa), en cambio, en las plantas de C-3 y C-4, las 2 enzimas carboxilasas (Fosfoenolpirúvico y Ribulosa1,5 di fosfato carboxilasa) trabajan en toda su potencia a pesar de que el CO₂ atmosférico llega en bajas concentraciones, en las plantas de C-3 la concentración de CO₂ es de 20 a 40 mg de CO₂ x Dm² de superficie foliar por hora, en cambio, en las plantas de C-3y C-4, es de 50 a 80 mg de CO₂ x Dm² de superficie foliar x hora, es decir, la función específica de la FOSFOENOLPIRÚVICO CARBOXILASA es aumentar las concentraciones de CO₂ para que la Rudp trabaje en toda su potencia.

Conforme indica **Soplin (1999)**¹⁴, en su escrito sobre análisis del crecimiento vegetal, que la eficiencia fotosintética (EF) es variable en las plantas; por lo que de acuerdo a la vía de fijación del CO₂ y al uso de la radiación solar; se pueden encontrar que las plantas con vía C-3 es del orden del 1% del uso de la radiación (pueden llegar al 2% en laboratorio); en las plantas con vía C-4 es del orden del 2% al 3% (pudiendo llegar al 4% - 5% en laboratorio) y en las plantas con vía CAM presentan valores menores del 1% del uso de la luz. Asimismo indica que parte de la energía solar fijada por la fotosíntesis es acumulada en la planta y puede ser usada para el crecimiento. La producción de materia orgánica también puede ser expresada en unidades de energía, considerando que la radiación solar es finalmente transformada en biomasa. Así la cantidad de sustancias fotosintetizadas puede ser tomada como una medida de la fotosíntesis, de la misma manera como es hecha el cálculo de la cantidad de CO₂ absorbido. Los productos formados por la actividad fotosintética varían en composición química y, por tanto contenidos energéticos diferentes; así tenemos: (1 caloría = 4,184 j -joule-). El mismo autor continúa expresando que alternativamente el acumulo de energía en los tejidos de las plantas puede ser determinado a través de cantidades de calor (energía) de combustión de materia orgánica. Diferentes partes de plantas, así como de varias especies, presentan distintas cantidades de energía contenidas en los tejidos: 1 g de materia orgánica contiene de 3,4 kcal a 4,8 kcal el que corresponde a 14,7 kj a 20,2 kj. Las plantas herbáceas presentan en promedio valores de 4 kcal.g⁻¹ (16,8 kj.g⁻¹), en cuanto a especies leñosas tienen aproximadamente 4,7 kcal.g⁻¹ (19,7 kj.g⁻¹) de valor energético.

En su estudio sobre la estimación de la radiación en Iquitos, **Benites (1988)**¹⁵, obtuvo valores promedios anuales de radiación que llega a la parte superior de la atmósfera en 35.85 MJ (8 568.150 kcal/(m².dia⁻¹) que es el 100%, y que

16.14 MJ (3 857 Kcal/ (m². Día⁻¹) es la radiación global que llega a la superficie del suelo. Es decir, el valor de la radiación global que llega al suelo está representado a un 45.02% de la radiación solar que llegó a la parte superior de la atmósfera. Los porcentajes de radiación que se pierden en la atmósfera por procesos de absorción, extinción y dispersión han sido calculados en la Tabla 5 y representan un 54.98%. Es decir, que la radiación global que llega a la tierra, más la radiación que se pierde en las interacciones con la atmósfera, es igual a la radiación que llega a la parte superior de la atmósfera.

1.3. Definición de términos básicos.

- **Eficiencia fotosintética.** Eficiencia fotosintética es la cantidad de CO₂ asimilado por el área de superficie. Esto depende también de otros factores como la apertura de los estomas. Es un mecanismo de fijación del CO₂ y su posterior reducción en moléculas orgánicas; (www.elergonomista.com)¹⁶ **Soplín (1999)**¹⁴; define como la producción de materia seca u orgánica de un cultivo donde la radiación solar (expresada en Kcal.m⁻². dia⁻¹ es convertido a porcentaje (%) de materia seca, utilizada durante el ciclo de vida del vegetal y que interviene en la formación de hidratos de carbono (glucosa).

La eficiencia fotosintética es la fracción de energía luminosa convertida en energía química durante la fotosíntesis en plantas y algas. La fotosíntesis puede describirse mediante la reacción química simplificada.



Donde C₆H₁₂O₆ es glucosa (que posteriormente se transforma en otros azúcares, celulosas, lignina, etc.). El valor de la eficiencia fotosintética

depende de cómo se define la energía de la luz: depende de si contamos solo la luz que se absorbe y de qué tipo de luz se utiliza.

https://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetic_efficiency¹⁷

- **Captura de carbono.** Constituye un proceso de absorción del CO₂ atmosférico por las plantas verdes, para que a través de la fotosíntesis almacenarlas y convertirlas en los esqueletos de los hidratos de carbono, para ser luego utilizadas por estas en sus procesos biológicos. **(Wikipedia.org)**¹⁸
- **Caupí.** Es una leguminosa muy importante (Fabaceae) usada como alimento y forraje en las sabanas semi-áridas tropicales, debido a su tolerancia a sequía y su capacidad para crecer en suelos de baja fertilidad y es, a la vez, un cultivo valioso para los agricultores de muchas regiones del mundo.
- **Fotosíntesis.** Es un proceso fascinante: Gracias a él, las plantas absorben el dióxido de carbono de una atmósfera enriquecida en oxígeno. **Almeraya et al (2015)**¹²
- **Densidad de siembra.** En el latín *densitas* se encuentra el origen etimológico del primer término, densidad, que compone el concepto que nos ocupa. Este, densidad de siembra, viene a definirse muy sencillamente: es el número de kilos de semilla por hectárea que se necesitan y se van a utilizar para sembrar. Es decir, es el número de plantas por hectárea que van a crecer en un terreno determinado.
<https://deconceptos.com/ciencias-sociales/voluntariado>¹⁹
- **Biomasa.** Cantidad de materia acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema.

“Se considera biomasa a un grupo de productos energéticos y materia primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica“, **García G. S (2012)**²⁰

- **Diseño experimental.** Son aquellos en los que existe un control exigido por la observación experimental y, de modo especial, se trabaja con variables activas o experimentales, susceptibles de manipulación y dosificación, y, en su caso, combinación.

El diseño experimental, es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

El diseño experimental es una estructura de investigación donde al menos se manipula una variable y las unidades son asignadas aleatoriamente a los distintos niveles o categorías de la variable o variable manipulada.

El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental.

[wikipedia.org/wiki/Diseño experimental](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_experimental)²¹

<https://es.slideshare.net/alzamoradelosgodos/diseos-experimentales>²²

- **Experimentación.** La experimentación proporciona los datos experimentales, en contraste con los datos de la observación; los datos de la observación se representan como su nombre indica por observaciones de las unidades

elementales de una población o de una muestra, y no deben ser cambiados ni modificados por ningún intento de parte de un investigador en el curso de la observación.

<https://tarwi.lamolina.edu.pe/~ivans/aspgen.pdf>²³

- **Variable estadística.** Aspectos o propiedades de los entes que se distinguen por las peculiaridades de ser características observables de algo, susceptibles de cambio o variación, en relación al mismo o diferentes objetos, y de presentarse a la observación vinculadas entre si según diversos tipos de relaciones.

Una **variable estadística** es el conjunto de valores que puede tomar cierta característica de la población sobre la que se realiza el estudio estadístico y sobre la que es posible su medición. Estas variables pueden ser: la edad, el peso, las notas de un examen, los ingresos mensuales, las horas de sueño de un paciente en una semana, el precio medio del alquiler en las viviendas de un barrio de una ciudad, etc.

Las **variables estadísticas** se pueden clasificar por diferentes criterios. Según su medición existen dos tipos de variables:

- **Cualitativas (o categóricas)** son las variables que pueden tomar como valores cualidades o categorías, ejemplo: Sexo (hombre, mujer); Salud (buena, regular, mala)
- **Cuantitativas (o numérica):** variables que toman valores numéricos.
Ejemplos: Número de casas (1, 2,...). Discreta.

Edad (12,5; 24,3; 35;...). Continua.

<https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/variables-estadisticas>²⁴

- **Variable independiente.** Variable que en la investigación se estudian como no dependientes en su variación de otras variables, si no que al contrario,

mediante ellas se pretende explicar la variación de las variables dependientes.

- **Variable dependiente.** Variable que en su variación, dependen de otras variables, que determinan el alcance y sentido de las modificaciones que en ellas se observan.

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis.

Existe relación significativa entre variedades y densidades para el incremento de la eficiencia fotosintética y captura de carbono, en el cultivo de la *Vigna unguiculata* – “caupí”.

No existe relación significativa entre variedades y densidades para el incremento de la eficiencia fotosintética y captura de carbono, en el cultivo de *Vigna unguiculata* – “caupí”.

2.2. Variables y su operacionalización.

2.2.1. Identificación de las variables.

Variables independiente: (V.I)

V → Variedades

V1= Variedad “San Roque” - grano, marrón - claro y oscuro

V2= Pindahito (grano crema)

V3= Castilla - (grano rojo)

D → Densidades

D1= 125 000 Pl/ha (0,60mx 0,40m)/3 plantas por golpe

D2= 150 000 Pl/ha (0,50mx 0,40m)/3 plantas por golpe

D3= 187 500 Pl/ha (0,40mx 0,40m)/3 plantas por golpe.

Variables Dependientes (V.D)

Y1 → Eficiencia fotosintética

Y2 → Captura de carbono

Tratamientos en estudio

IDENT	NIV/FAC	DESCRIPCION DE LOS TRTAMIENTO
T1	V1D1	San Roque x 125 000 p/ha
T2	V1D2	San Roque x 150 000 p/ha
T3	V1D3	San Roque x 187 500 p/ha
T4	V2D1	Pindahito x 125 000 p/ha
T5	V2D2	Pindahito x 150 000 p/ha
T6	V2D3	Pindahito x 187 500 p/ha
T7	V3D1	Castilla x 125 000 p/ha
T8	V3D2	Castilla x 150 000 p/ha
T9	V3D3	Castilla x 187 500 p/ha

2.2.2. Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN	TIPO POR SU NATURALEZA	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	CATEGORÍA	VALOR CATEGÓRICO	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Variable Independiente							
Variedad de Cauquí	Población de plantas con características propias que son diferenciadas de una de otra de la misma especie	Cualitativa	Rasgos varietales	Nominal	San Roque	V1	Formato de registro.
					Pindahito	V2	
					Castilla	V3	
Densidad	Número de plantas por unidad de superficie	Cuantitativa	Distancia de siembra	Ordinal	Núm. de plantas / ha	D1=0.60x0.40	Formatos de distanciamiento entre plantas y surcos. (m)
						D2=0.50x0.40	
						D3=0.40x0.40	
VARIABLES DEPENDIENTES							
Eficiencia fotosintética	Producción de materia seca u orgánica de un cultivo donde la radiación solar (expresada en Kcal.m ⁻² . día ⁻¹ es convertido a porcentaje (%)) de materia seca, utilizada durante el ciclo de vida del vegetal y que interviene en la formación de hidratos de carbono (glucosa).	Cuantitativa	% de radiación solar capturada y transformada	Razón	Bajo	% Bajo de luz	Formatos y fichas de evaluación. Peso seco de producto cosechado
					Medio	% Medio de luz	
					Alto	% alto de luz.	
Captura de carbono	Constituye un proceso de absorción del CO ₂ atmosférico por las plantas verdes, para que a través de la fotosíntesis almacenarlas y convertirlas en los esqueletos de los hidratos de carbono, para ser luego utilizadas por estas en sus procesos biológicos..		Carbono atmosférica absorbido y transformado	Razón	Bajo	Kg/ha	Formatos y fichas de colecta de datos.
					Medio	Kg/ha	
					Alto	Kg/ha	

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de investigación.

El trabajo de investigación de acuerdo a su enfoque corresponde a una **investigación cuantitativa** basado en el método científico y fue **experimental, y explicativo** el cual nos permitió responder cual es el efecto la dependencia de variedades y densidades sobre la eficiencia fotosintética, la captura de carbono y otras características agronómicas.

3.1.2. Diseño de estudio.

Corresponde por su enfoque al diseño: Descriptivo - Analítico.

3.2. Diseño muestral.

3.2.1. Población universo.

La población fueron todas las plantas de Caupí de cada una de los tratamientos, sembradas a diferentes densidades. Esta población de estudio total fue de 10,800 plantas sembradas (3 plantas por golpe y 100 golpes/unidad experimental).

3.2.2. Muestra de estudio.

La muestra fue extraída de seis golpes/unidad experimental, conteniendo 18 plantas por cada unidad.

El método a seguir, para realizar el ensayo fue el:

Científico – inferencial.

3.2.3. Técnicas de muestreo.

La técnica del muestreo fue la probabilística mediante la aleatorización simple, la misma que fue extraída de una población de plantas de Caupí, sembrada para sus efectos sobre eficiencia fotosintética y captura de carbono.

a) Criterios de inclusión: para esta investigación se consideró a aquellas plantas de Caupí situadas en el centro de los surcos, que sean competitivas entre ellas y que se encuentren en buen estado fitosanitario.

b) Criterios de exclusión: para esta investigación no se consideró a aquellas plantas de Caupí situadas a los bordes de los surcos además de no ser competitivas entre ellas y que se encuentren en mal estado fitosanitario.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1. Ubicación del experimento.

Este ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental de “San Roque” perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), distrito de Belén, Provincia de Maynas, Departamento de Loreto, Perú. Esta caracterizado por ser un área de terraza alta, de suelo ligeramente ácido. El área experimental cuenta con las siguientes coordenadas:

Latitud: 03° 45' 18" S

Longitud: 73° 14' 0" O.

Altitud : 106 msnm.

3.3.2. Materiales

Para la realización del trabajo de investigación fue necesario el uso de los siguientes materiales:

- Área de terreno: 1 242.00 m² Aprox - (Largo=46.0 m y Ancho = 27.00 m)
- Rafia
- Bolsas de prolipropileno de 11 x 16 cm.
- Tijeras de corte.
- Cuchilla
- Libreta de campo
- Marcadores de tinta
- Vernier digital
- Wincha de lona
- Machetes
- Pala de corte
- Balanza Analítica y balanza de pesa.
- Estufa.
- Laptop
- Programa estadístico: INFOSTAT.

3.3.3. Características de los tratamientos, bloques y parcelas.

Nº de Tratamientos: 9

Nº de Unidades experimentales: 36

Nº de golpes (3plantas) /Unid Experimental: 100

Largo del Campo: 46.00 m

Ancho del Campo: 27.0 m

Área total del Campo: 1 242.00 m²

N° de Bloques: 4

Distancia entre bloques: 2.0 m

Largo del Bloque: 10.0 m

Ancho del Bloque: 9.0 m

Área del Bloque: 90.0 m²

N° de Parcelas: 36

Largo de parcelas: 10.0 m

Ancho de parcelas: 2.4; 2.0 y 1.60 m

Área de parcelas: 24.0; 20.0 y 16.0 m²

3.3.4. Conducción de campo del experimento.

La siembra del experimento se realizó el 26 de agosto del 2019, siguiendo la distribución del croquis respectivo donde se indica las densidades de cada variedad a ser sembrada por tratamiento.

El desahije o raleo se ejecutó a los diez días después de sembrado. La primera fumigación fitosanitaria, se ejecutó el 2 de setiembre, para controlar plagas y enfermedades, utilizando para esta labor cupravit, rotebiol, a dosis de 0.3% en 18 litros de agua. Además en forma conjunta se aplicó fertilizante foliar Bayfolan con su adherente Ultrapegasol; esta labor se realizó con frecuencia de 1 mes. Asimismo, en fechas 19-09-19, (25 días) se fertilizó aplicando N-P-K, en dosis de 40-60-60, a razón de 3 gramos por planta en hoyos.

La primera floración se observó a un mes (30 días de sembrado) en la variedad Castilla, en la variedad San Roque a 36 días y, en la variedad Pindahito a los 45 días de sembrado.

La cosecha de vainas se realizó en dos momentos; para la variedad Castilla se inició a los 63 días y concluyó a los 68 días; para la variedad San Roque se inició a los 76 días y 80 días y, para la variedad Pindahito se inició a los 83 días y concluyó a los 90 días de sembrado.

3.3.5. Datos recolectados

Captura de carbono:

Para esta variable usaremos lo siguiente:

Formula:

Relación Biomasa C – CO₂

Una tonelada de carbono equivale a 3.76 toneladas de CO₂ (Obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂ de 12 / 44). Para saber la cantidad de CO₂ emitido o almacenado a partir de carbono de un determinado depósito se debe multiplicar esta por 3.76. A su vez, una tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente entre 0.5 de carbono (WRI, 2001)⁸.

Resumiendo:

1 ton. Biomasa seca → +/0.5 ton. C;
Por qué: (Agua = 50% y Mat. Seca = 50%)

1 ton. Carbono → 3.76 ton de CO₂.

Eficiencia fotosintética

Formula:

$$EF = \frac{PS \times 3,74}{R \times (0,45 \text{ a } 0,50)} \times 100\%$$

Donde:

EF = Eficiencia fotosintética, se expresará en %.

- PS** = Peso seco (g) o productividad biológica; que es la variación de la producción de materia seca, por unidad de terreno, por unidad de tiempo. Expresar en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ o $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{día})$.
- 3,74** = Indica que 1g de carbohidrato produce 3740 cal o 3,74 kcal/g.
- R** = Radiación solar del lugar. Expresar en $\text{Kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$. (Estos valores van de 300 a 700 $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ o $\text{cal}/(\text{cm}^2\cdot\text{día})$).
- (0,45-0,50)** = Radiación fotosintéticamente activa-RFA- se usa del 45% al 50%.

El valor porcentual obtenido, para su análisis fue transformado al arco seno del valor respectivo.

3.3.6. Características agronómicas evaluadas

a) Altura de planta

En 6 plantas competitivas de cada tratamiento se tomó esta medida, utilizando una regla graduada en centímetros y se realizará desde el cuello de la planta (suelo) hasta el ápice de la última hoja. Esta labor se efectuó al inicio de la floración de cada variedad.

b) Largo y ancho de vaina

Del total de vainas cosechadas una vez secada al sol, de 10 de ellas tomadas al azar se procedió a tomar esta medida del largo y ancho de las vainas utilizando una regla milimétrica de 30 centímetros de largo. Se expresó en cm.

c) Número de granos por vaina

Del total de vainas cosechadas una vez secada al sol, de 10 de ellas tomadas al azar se procedió a desgranar las vainas contándose en número de granos que contenían cada una de ellas, anotándose posteriormente. Este dato para su análisis fue sometido a la raíz cuadrada del valor respectivo.

d) Peso de 100 granos

Del total de vainas cosechadas una vez secada al sol, se procedió a extraer los granos separando dos grupos de 100 granos tomándose los pesos respectivos de ambos, luego se obtuvo el promedio; para esta labor se utilizó una balanza de torsión.

e) Peso fresco de plantas

Se realizó al momento de la cosecha; en las 6 plantas competitivas seleccionadas previamente, en cada tratamiento. Consistió en la evaluación del peso biológico total de la parte aérea del caupí – **biomasa vegetal aérea** (sobre el suelo). Para esta labor se utilizó un cuchillo, con lo cual se cortó el tallo de las plantas, al nivel del suelo, las que se colocaron en bolsas de papel y se sometió al pesaje mediante una balanza de precisión-torsión en gramos.

f) Peso seco de planta

Una vez obtenido los datos del peso biológico total de las plantas – biomasa vegetal aérea, se separa 500 g de cada parte de la planta (tallos, hojas y flor y granos de semillas), se envió a una estufa para el secado, permaneciendo en ella por espacio de 72 horas, posteriormente se tomó el peso seco de estos rastrojos y anotando en los registros correspondientes. Se expresó en gramos.

3.4. Procesamiento y análisis de los datos.

Para el análisis de los tratamientos (09) o datos, se utilizó el diseño Factorial 3 x 3, incluido en un Diseño de Bloques Completos al azar - DBCA, con cuatro repeticiones. También determinar la diferencia de las medias, se utilizó la prueba de efectos múltiples de Tukey.

La estadística utilizada fue la inferencial.

El Modelo Aditivo Lineal (M.A.L.), fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + T_{ij} + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$i = 1, \dots, 3$. factor A $j = 1, \dots, 3$ factor B $k = 1, \dots, 4$ Bloque

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor observado

μ = Es el efecto de la media general.

B_k = Es el efecto del k-ésimo bloque.

T_{ij} = Es el efecto del tratamiento.

α_i = Es el efecto del i-ésimo nivel del factor A.

β_j = Es el efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Es el efecto de la Interacción de los Factores A y B

ε_{ijk} = Es el efecto del error experimental

Esquema del Análisis de Variancia

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.		
Bloques	$r - 1$	$= 4 - 1$	$= 3$
Tratamiento	$t - 1$	$= 9 - 1$	$= 8$
A (variedad)	$a - 1$	$= 3 - 1$	$= 2$
B (densidad)	$b - 1$	$= 3 - 1$	$= 2$
AxB	$(a - 1) (b - 1)$	$= 2 \times 2$	$= 4$
Error experimental	$(ab - 1) (r-1)$	$= 8 \times 3$	$= 24$
TOTAL	$(abr - 1)$	$= 36 - 1$	$= 35$

Donde:

t: Niveles del factor T

r: Bloques o repeticiones

Luego de recolectado los datos se realizaron los análisis de varianza utilizando el programa estadístico INFOSTAT, y sus respectivas interpretaciones para cada característica agronómica, que se presentan en los siguientes capítulos.

3.5. Aspectos éticos.

Se cumplió con las normas éticas que señalan del buen investigador como son: la veracidad de los resultados obtenidos, manejar correctamente los instrumentos de medición para obtener datos exactos y confiables, respeto al medio ambiente, a la propiedad intelectual, a la responsabilidad social y honestidad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Eficiencia fotosintética y captura de carbono de la parte aérea de la planta de Caupí.

Tabla 1. Análisis de varianza de variedades y densidades para la **eficiencia fotosintética (%)** – datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y **captura de carbono (tm/ha)** de la parte aérea en el cultivo del Caupí 2019.

FUENTE DE VARIACION	GL	EFICIENCIA FOTOSINTETICA %		CAPTURA DE CARBONO Tm/ha	
		CUAD MEDIO	SIGN	CUA MED	SIGN
Bloque	3	0.02	NS	0.01	NS
Variedad	2	3.77	**	0.003	**
Densidad	2	1.69	**	0.58	**
Variable x Densidad	4	0.04	NS	0.02	NS
Error	24	0.03		0.01	
Total	35				
		CV= 4.65%		CV= 10.77%	

* Significativo estadísticamente

** Alta significación estadística

NS, No Significativo estadísticamente

La tabla 1, presenta la **eficiencia fotosintética y captura de carbono**, muestra que existe alta diferencia estadística significativa, para las fuentes de variación variedad y densidad, para ambos caracteres estudiados; además exhiben coeficientes de variación del 4.65% y 10.77%, respectivamente.

Tabla 2. Prueba de Tukey de variedades y densidades para la **eficiencia fotosintética (%)** - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y **captura de carbono (tm/ha) de la parte aérea** del factor variedad en el cultivo del Caupí – 2019.

VARIEDAD	EFICIENCIA FOTOSINTETICA %		VARIEDAD	CAPTURA DE CARBONO Tm/Ha	
	MEDIAS	SIGN *		MEDIAS	SIGN *
V2	0.28	A	V2	0.83	A
V1	0.41	B	V1	1.06	B
V3	0.53	C	V3	1.18	C

* Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

V1-San Roque

V2-Pindahito

V3-Castilla

La alta significación estadística mostrada anteriormente, manda a realizar la prueba de rangos múltiples de **Tukey**, la misma que se muestra en la tabla 2, referente al factor variedad, para eficiencia fotosintética y captura de carbono; encontramos que las medias de las variedades siguen las mismas tendencias, es decir que los promedios de las variedades son diferentes entre ellas tal como indican las letras diferentes para las tres variedades. Así se tiene que para la eficiencia fotosintética la variedad Castilla (V3) obtuvo el mayor promedio de 0.53% y el menor para Pindahito (V2) con 0.28%; asimismo para la captura de carbono la variedad Castilla obtuvo 1.18 Tm/ha de carbono y el Pindahito 0.83 Tm/ha, pero en ambos caracteres, una variedad es estadísticamente diferente a la otra variedad estudiada.

A continuación, lo referido en el anterior párrafo lo corroboramos mostrando el gráfico 1, que corresponde al factor variedad, para la eficiencia fotosintética y; el gráfico 2, para la captura de carbono.

Gráfico 1. Efectos simples para **eficiencia fotosintética (%)** del factor variedad en el cultivo del Caupí 2019.

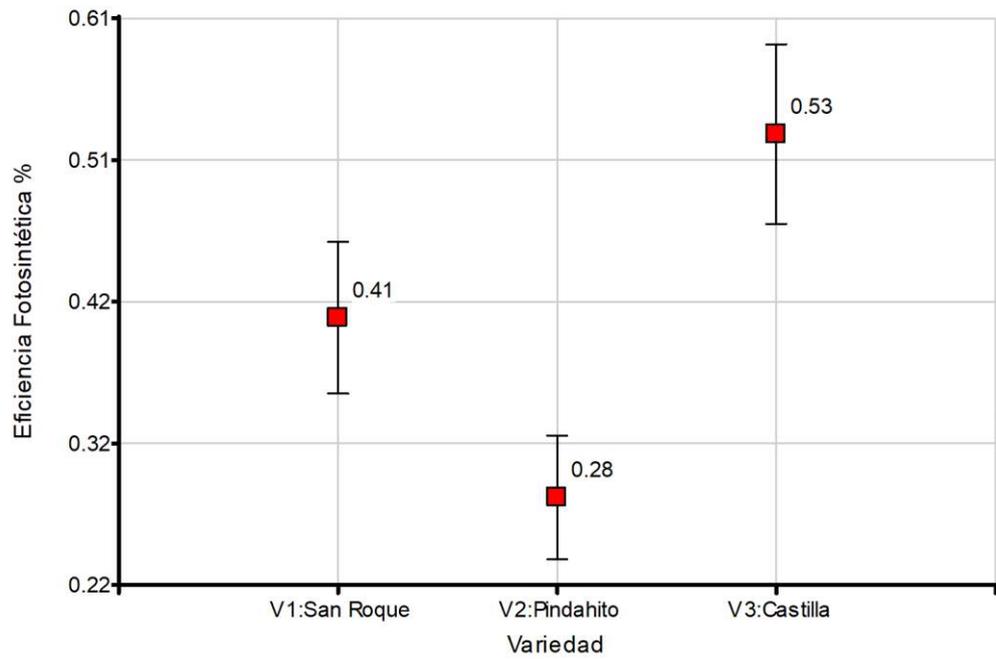


Gráfico 2. Efectos simples para **captura de carbono (t/ha)** del factor variedad en el cultivo del Caupí 2019.

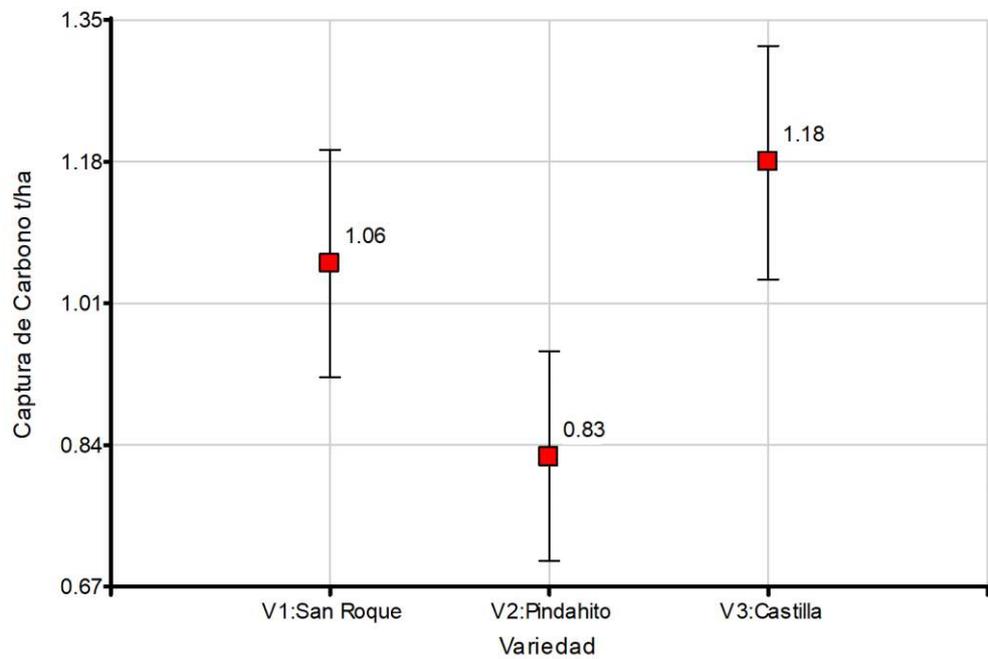


Tabla 3. Prueba de Tukey de variedades y densidades para la **eficiencia fotosintética (%)** - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % y **captura de carbono (tm/ha)** de la parte aérea del factor densidad en el cultivo del Caupí – 2019.

DENSIDAD	EFICIENCIA FOTOSINTETICA %		DENSIDAD	CAPTURA DE CARBONO Tm/Ha	
	MEDIAS	SIGN *		MEDIAS	SIGN *
D1	0.33	A	D1	0.83	A
D2	0.38	B	D2	0.97	B
D3	0.50	C	D3	1.27	C

* Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

D1- 125 000 plantas/hectárea

D2- 150 000 plantas/hectárea

D3- 187 500 plantas/hectárea

Por la misma razón referida anteriormente se efectuó la prueba de rangos múltiples de **Tukey**, para el factor densidad, mostrándose en la tabla 3, para eficiencia fotosintética y captura de carbono; encontramos que las medias de las densidades siguen las mismas tendencias, es decir que los promedios de las densidades son diferentes entre ellas tal como indican las letras dispares para las tres densidades. Así se tiene que para la eficiencia fotosintética la densidad de 187 500 plantas por hectárea (D3) obtuvo el mayor promedio de 0.50% y el menor para la densidad de 125 000 plantas por hectárea (D1) con 0.33%; asimismo para la captura de carbono la densidad (D3) obtuvo 1.27 Tm/ha de carbono y la densidad (D1) 0.83 Tm/ha, pero en ambos caracteres, una densidad es diferente estadísticamente a la otra densidad estudiada.

A continuación lo referido en el anterior párrafo lo corroboramos mostrando el gráfico 3, que corresponde al factor densidad, para la eficiencia fotosintética y; el gráfico 4, para la captura de carbono.

Gráfico 3. Efectos simples para **eficiencia fotosintética (%)** del factor densidad en el cultivo del Caupí 2019.

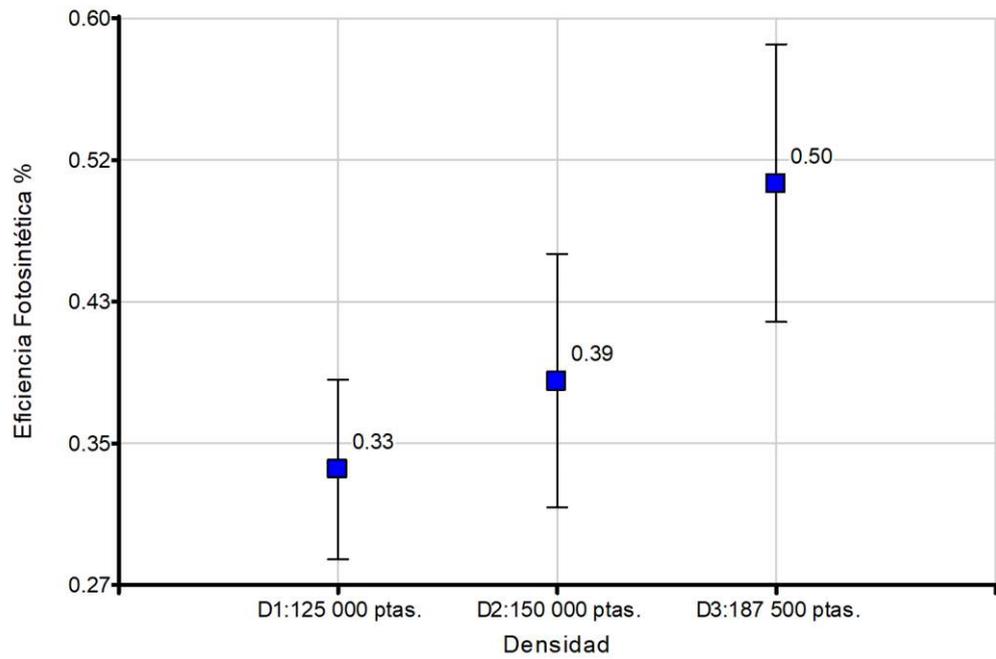


Gráfico 4. Efectos simples para **captura de carbono (t/ha)** del factor densidad en el cultivo del Caupí 2019.

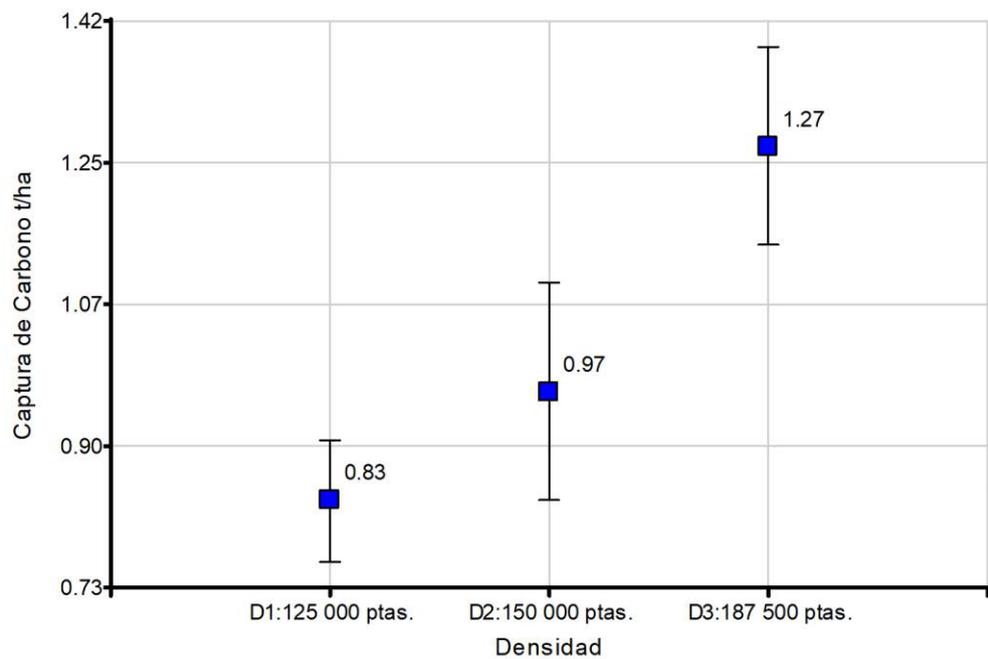


Tabla 4. Análisis de varianza de efectos simples de las variedades y las densidades para **eficiencia fotosintética (%)** - datos transformados a la raíz cuadrada del arco seno del % en el cultivo del Caupí – 2019.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
D EN V1	1.31	2	0.66	41.36	<0.0001
D EN V2	0.93	2	0.47	7.88	0.0105
D EN V3	1.3	2	0.65	105.73	<0.0001
V EN D1	1.8	2	0.9	79.72	<0.0001
V EN D2	3.23	2	1.62	30.31	0.0001
V EN D3	2.67	2	1.34	80.71	<0.0001
Error	0.68	24	0.03		
Total	11.81	35			

El análisis de varianza de efectos simples muestra diferencias altamente significativas en las medias de Eficiencia fotosintética, de las tres densidades de siembra con las variedades San Roque y Castilla (tabla 4); asimismo, con la variedad Pindahito muestran diferencias significativas. La densidad que presenta una mayor eficiencia fotosintética es la de 187 500 planta por hectárea (Gráfico 5).

Por otro lado, existe diferencias altamente significativas en las medias de Eficiencia fotosintética entre las tres variedades de Caupí (Pindahito, San Roque y Castilla) cuando están bajo el efecto de cualquiera de las tres densidades de siembra (tabla 4).

La interacción que mejor eficiencia Fotosintética presenta es la de la variedad castilla con la densidad de 187 500 plantas (Gráfico 5).

Tabla 5. Análisis de varianza de efectos simples de las variedades y las densidades para **captura de carbono** en el cultivo del Caupí – 2019.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
D EN V1	0.45	2	0.23	42.79	<0.0001
D EN V2	0.29	2	0.15	10.19	0.0049
D EN V3	0.49	2	0.25	64.53	<0.0001
V EN D1	0.13	2	0.06	21.5	0.0004
V EN D2	0.36	2	0.18	14.15	0.0017
V EN D3	0.33	2	0.16	21	0.0004
Error	0.2	24	0.01		
Total	2.21	35			

El análisis de varianza de efectos simples muestra diferencias altamente significativas en las medias de Captura de carbono, de las tres densidades de siembra con las variedades Pindahito, San Roque y Castilla (tabla 5); asimismo, la densidad que presenta una mayor Captura de carbono con la variedad San Roque es la de 187 500 planta por hectárea (Gráfico 6).

Por otro lado, existe diferencias altamente significativas en las medias de Eficiencia fotosintética entre las tres variedades de Caupí (Pindahito, San Roque y Castilla) cuando están bajo el efecto de cualquiera de las tres densidades de siembra (tabla 5). Siendo la variedad castilla la que presenta las medias más altas (Gráfico 6).

La interacción que mejor captura de carbono presenta es la de la variedad castilla con la densidad de 187 500 plantas (Gráfico 6).

Con respecto a lo anterior, se presenta a continuación en el gráfico 5 y 6: esta muestra los efectos simples para la interacción entre la variedad y la densidad de la eficiencia fotosintética y para la captura de carbono de Caupí estudiadas.

Gráfico 5. Eficiencia fotosintética (%) de la interacción variedad y densidad en el cultivo del Caupí 2019.

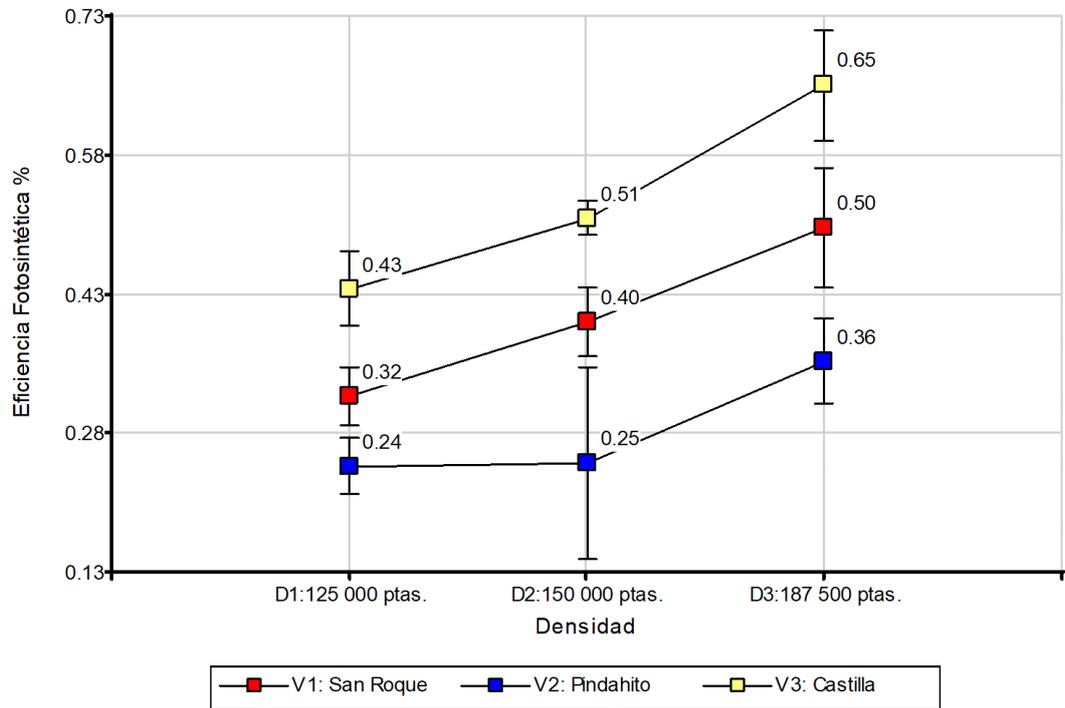
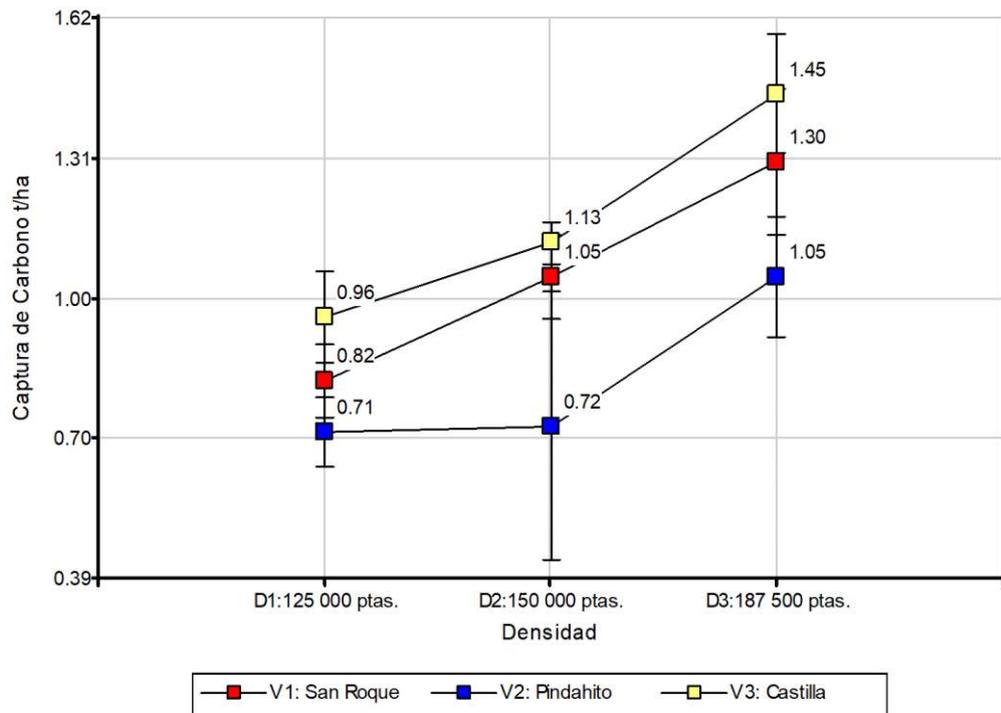


Gráfico 6. Captura de carbono (t/ha) de la interacción variedad y densidad en el cultivo del Caupí 2019.



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Eficiencia fotosintética y captura de carbono de la parte aérea de la planta de Caupí.

En la **tabla 1**, del capítulo de resultados, se presentó la **eficiencia fotosintética** y **captura de carbono**, observándose en ella que existe alta diferencia estadística significativa, para las fuentes de variación variedad y densidad para ambos caracteres estudiados. Además, se enseñan los coeficientes de variación del 4.65% y 10.77%, para las dos características estudiadas, respectivamente; es decir que las desviaciones estándares o variabilidades de los valores promedios de las muestras, se encuentran en rangos aceptables de la investigación.

La prueba de Tukey, de la **tabla 2**, del capítulo de resultados, presenta lo referente al factor **variedad**, para eficiencia fotosintética y captura de carbono; encontramos que las medias de las variedades siguen las mismas tendencias, es decir que los promedios de las variedades son diferentes entre ellas tal como indican las letras diferentes para las tres variedades. Así se tiene que para la eficiencia fotosintética la variedad Castilla (V3) obtuvo el mayor promedio de 0.53% y el menor para Pindahito (V2) con 0.28%; de idéntica forma para la captura de carbono la variedad Castilla (V3) obtuvo 1.18 Tm/ha de carbono y el Pindahito (V2) 0.83 Tm/ha, pero en ambos caracteres, una variedad es diferente estadísticamente a la otra variedad estudiada.

Estos resultados nos indican, para la eficiencia fotosintética, que del 100% de radiación solar o luz solar, que llegó al dosel superior del cultivo de las plantas de Caupí, la variedad que más aprovecho y transformo la radiación solar fue el castilla (V3) y la variedad que menos aprovecho fue el pindahito (V2); observándose valores bajos; más aún si se tiene en cuenta que se está

considerando el peso biológico total del cultivo al momento de la cosecha; o sea expresa los valores del peso seco de granos, vainas, tallos, hojas, otros (parte aérea total de la planta).

Para el caso de la captura de carbono, la variedad más aprovechada fue la Castilla (V3) y la menos aprovechada fue la Pindahito (V2); esto es importante referir porque la agricultura utiliza técnicas para aplicar a las plantas durante su cultivo, empezando por la utilización de semilla mejorada (variedades frescas), abonamiento, podas, aporques, control fitosanitario, riegos, densidad de siembra etc. Estas prácticas se realizan con el propósito de utilizar mayor radiación solar y la captura de carbono, esta es favorable si estas técnicas agrícolas se aplican durante el cultivo en forma adecuada; como fue el caso del experimento realizado.

La prueba de **Tukey**, para el factor densidad, mostrándose en la **tabla 3**, del capítulo de resultados; para eficiencia fotosintética y captura de carbono; encontramos que las medias de las densidades siguen las mismas tendencia, es decir que los promedios de las densidades son diferentes entre ellas tal como indican las letras disperejas para las tres densidades. Así se tiene que para la eficiencia fotosintética la densidad de 187 500 plantas por hectárea (D3) obtuvo el mayor promedio de 0.50% y el menor para la densidad de 125 000 plantas por hectárea (D1) con 0.33%; asimismo para la captura de carbono la densidad (D3) obtuvo 1.27 Tm/ha de carbono y la densidad (D1) 0.83 Tm/ha, pero en ambos caracteres, una densidad es diferente estadísticamente a la otra densidad estudiada.

La interacción variedad con densidad, mostramos la prueba de Tukey en la **tabla 4**, del capítulo de resultados; para eficiencia fotosintética y captura de carbono teniendo en ambos caracteres cinco grupos de letras (promedios), cada grupo homogéneas estadísticamente entre ellas, observando que la

mayor eficiencia fotosintética obtuvo la interacción variedad Castilla sembrada a 187 500 plantas por hectárea (V3D3) con 0.64% y menor eficiencia la variedad Pindahito sembrada a 150 000 plantas por hectárea (V2D2) con 0.24%; para captura de carbono el mayor valor obtuvo la variedad Castilla sembrada a 187 500 plantas por hectárea (V3D3) con 1.45 Tm/ha y la menor captura de carbono la variedad Pindahito sembrada a 125 000 plantas por hectárea (V2D1) con 0.71 tm/ha.

Coincidentemente tal como explica **Walker et al (1989)**²⁵, en el texto, Introducción a la fisiología de los cultivos tropicales en el año 1989; indica que la producción de los cultivos depende de la intercepción de la radiación solar y de su conversión en biomasa; es decir de la eficiencia fotosintética del cultivo.

Las plantas de baja eficiencia fotosintética, son aquellas que fijan y reducen el CO₂ atmosférico solo por la vía del C-3, en ellas la cantidad de CO₂ fijado es de 20 a 40 mgr de CO₂ por decímetro cuadrado de superficie foliar por hora, en estas plantas la enzima carboxilasa que actúa es la **Rubisco** o Ribulosa1, 5 difosfato carbolilasa; en cambio, en las plantas de alta eficiencia fotosintética C-4, (entre ellas sorgo, maíz, caña de azúcar) el CO₂ se fija por otro mecanismo que involucra otra carboxilasa diferente que es la Fosfoenolpirúvico carboxilasa, esta carboxilasa fija el CO₂ en las células del mesófilo de la hoja reduciéndolo en un compuesto de 4 carbonos, el ácido málico u oxalacético, luego, uno de estos ácidos al pasar a las células de la vaina de los haces vasculares de la hoja se descarboxila (o sea, libera el CO₂) originando **ácido pirúvico**, el CO₂ liberado es incorporado en el ciclo de Calvin. Estas plantas (C-4) tienen una ventaja con respecto a las anteriores (C-3), en ellas hay 2 carboxilasas que trabajan en conjunto, la fosfoenolpirúvico y la ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa (rubisco), la cantidad de CO₂ fijado por dm² de superficie foliar por hora es de 50 a 80 mgr de CO₂.

Como el CO₂ llega en concentraciones bajas, ambas carboxilasas trabajan en toda su potencia, entonces, la función de la Fosfoenolpirúvico carboxilasa es aumentar las concentraciones de CO₂ para que la Rubisco trabaje en condiciones óptimas en toda su potencia.

Entonces se puede señalar que, la agricultura para la obtención de altos rendimientos de productos cosechados, se convierte indirectamente en la utilización de la mayor cantidad de radiación solar lo que determinará una mayor apertura estomática, consecuentemente una mayor captación de CO₂ y finalmente mayor síntesis de hidratos de carbono, que se constituirá en la materia prima para los productos de cosecha (frutos) y otras partes del vegetal (hojas, tallos, ramas, etc.).

Es importante señalar que la captura de carbono (CO₂, atmosférico) causante del Calentamiento Global o efecto de invernadero, ocurre únicamente durante el desarrollo de las plantas de Caupí, y se detiene cuando estas llegan a su madurez total (www.textoscientificos.com/node/887)²⁶ motivo por el cual esta evaluación se realiza al final del ciclo vegetativo y en este caso fue a partir del peso seco de la parte aérea del vegetal, por la facilidad de la obtención de estos datos (no se incluyó raíces o sea de la parte del suelo).

Las plantas de Caupí absorbieron dióxido de carbono (CO₂) atmosférico junto con elementos del suelo (nutrientes) y aire (O₂, radiación solar) para convertirlos en hidratos de carbono (raíz, tallo, hojas, granos, flores, etc.) partes del vegetal que contiene carbono, mediante el proceso de la fotosíntesis. La cantidad de CO₂ que la planta de Caupí capturó durante su ciclo de vida, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del cultivo que contiene carbono. Este proceso está considerado como uno de los servicios ambientales de mayor importancia, ya que contribuye a mantener las temperaturas globales de la tierra; porque contribuye a disminuir el CO₂ en

la atmósfera, quien es el responsable de la fijación de la radiación global en la atmósfera; (www.dominicanaonline.org)²⁷

Los expertos señalan que, aproximadamente del 42% a 50% de la biomasa de un cultivo (materia seca) es carbono. Entonces, la captura de carbono neta, únicamente se realiza mientras el cultivo de Caupí se desarrolló para llegar al final de su ciclo de vida (cosecha). Un cultivo de Caupí, en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto carbono (CO₂) captura el cultivo durante su ciclo de vida.

En la agricultura con un adecuado manejo de los sistemas de producción, puede incrementarse la capacidad de absorción del CO₂ de la atmósfera de la tierra. Mediante la aplicación de sistemas agroecológicos, la captura de carbono forma parte de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) impulsados por el Protocolo de Kyoto.

Si se logra aumento en la asimilación del CO₂ atmosférico por la planta, entonces consecuentemente se tendrá el incremento en el rendimiento de grano del cultivo del Caupí; pero esto se logra a través de un aumento en la biomasa del cultivo (peso seco total) y en la fotosíntesis neta del mismo. Para esto es necesario incrementar la fotosíntesis neta por área de hoja. Es decir, habrá que lograr un aumento en la fotosíntesis neta por hoja. Para lograr una mayor captación de CO₂ fijado por la planta, se proponen algunas estrategias relacionadas con el proceso fotosintético como son: el aumentar la tasa de fotosíntesis neta; aumentar la actividad de la enzima **rubisco** (C-3) - Ribulosa bi fostato - que es la variable interna de mayor influencia sobre el aumento de fijación de CO₂ y; en plantas C-4 (como es el caso del maíz, sorgo, otros) evaluar la actividad de la enzima PEP carboxilasa (Fosfoenol pirúvico).

La **importancia** del trabajo experimental radica, en que utilizando variedades de alta calidad genética y densidades adecuadas, podemos incrementar los

rendimientos de granos y además, por medio de la actividad fotosintética de las plantas, en este caso mediante el cultivo de *Vigna unguiculata* – “Caupí”-; se contribuirá a disminuir la contaminación ambiental (aire), mediante la absorción del CO₂, para utilizarla en la generación del esqueleto del Hidrato de carbono (glucosa) principalmente y otros compuestos orgánicos generados a partir de este; constituyéndose el cultivo un importante sumidero de CO₂ y el equilibrio gaseoso del medio ambiente.

El aumento en actividades como la deforestación, el pastoreo y la agricultura ha incrementado la liberación de carbono hacia la atmósfera, lo cual ha acelerado el calentamiento global. En el pasado, la agricultura era la principal fuente de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Actualmente, el mayor contribuyente es el uso de combustibles fósiles para la industria y el transporte.

La eficiencia fotosintética (EF), se logra precisamente incrementando la absorción y utilización de la radiación solar y la captura del carbono existente en la atmósfera y en el suelo, por el dosel superior de las hojas del cultivo, los estomas y raíces de las plantas, los que inmediatamente forman parte del ATP para dar energía en las reacciones bioquímicas y formar parte del esqueleto de la glucosa y luego lo transforman en otros productos glucógenos y almacenándose en partes como las hojas u otras partes verdes del vegetal, para ser transportada hasta las partes cosechables o granos de la especie cultivada, como el caupí en esta investigación.

El trabajo es concordante con el pacto firmado en Kyoto (Japón), por la mayoría de las naciones, incluida el Perú, pretende bajar un 5,5% las emisiones globales, mediante el uso de mecanismo de desarrollo en limpio-MDL – tecnologías limpias, y entre ellas el proceso de la reforestación en las áreas desérticas productos del mal manejo de los ecosistemas boscosos, la siembra de especies vegetales de rápido crecimiento en las urbes, de jardines para la

captura del CO₂ atmosférico y como nuestro ensayo la siembra de cultivos alimenticios. Además que uno de los retos más importantes del protocolo de Kyoto, es lograr que los suelos agrícolas de todo el mundo sean un sumidero de carbono y que esta captura sea cuantificable, lo cual se realiza mediante esta experimentación. Asimismo, la dinámica del carbono en los suelos consta de los aportes de material vegetal muerto, su pérdida por mineralización y su acumulación por humificación.

La siembra de cultivos alimenticios de corto periodo, como la *Vigna unguiculata* – “caupí”- y de otros de interés para la población y que forman parte de la alimentación diaria o seguridad alimentaria, contribuye al incremento de la absorción de gases contaminantes (como el CO₂), la limpieza del aire y favorece, por consiguiente, a la lucha contra el calentamiento global o contaminación atmosférica del planeta o de esta región y para la seguridad alimenticia de la población.

En términos generales, el papel del carbono en un ecosistema boscoso actúa de la siguiente manera: la vegetación (hierbas, arbustos y árboles) incorpora CO₂ en su metabolismo a través de la fotosíntesis. El carbón es una parte fundamental en la composición de todas las estructuras vegetales (hojas, ramas, raíces, tallos, etc.). La vegetación toma el CO₂ durante su crecimiento y los "deshechos" orgánicos (hojas muertas, ramas y otra materia orgánica) se degradan en humus en el suelo forestal. Durante el tiempo que el carbón es parte de la estructura del bosque, y de plantas de cultivos alimenticios, es considerado en almacenamiento (carbono capturado) y cuando es liberado a la atmósfera como resultado de la quema de la biomasa es visto como un flujo.

IPCC (2001b)⁹

Walker (1989)²⁵, señala que la cantidad de radiación incidente que es interceptada por el cultivo está determinada por el **área foliar**, por la orientación y duración de las hojas del Caupí.

El índice del área foliar (**LAI**) es importante para determinar la interceptación de la radiación hasta un valor cercano a 4 en el caso del Caupí; después de este valor, el área adicional tiene poco efecto en la interceptación de la luz. **La densidad de siembra** es un factor determinante del **LAI** y de la interceptación de la radiación. Los cultivares de ciclo corto producen menos hojas para interceptar la radiación y requieren una mayor densidad de plantas para llegar a un rendimiento óptimo comparados con los cultivares tardíos.

Por estas razones, es necesario el incremento en producto verde y en el rendimiento de grano del cultivo, para nuestro caso, el “caupí” (*Vigna unguiculata*); pero esto se logrará a través de un aumento en la biomasa del cultivo (peso seco total) y en la fotosíntesis neta del mismo.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

1. La **eficiencia fotosintética** encontrada en el cultivo de Caupí, en el análisis de varianza se presenta alta significación estadística para las fuentes de variación variedad y densidad; para el factor variedad se obtuvo un rango de 0.53% a 0.28%; presentándose con mayor eficacia la variedad castilla (V3); para el factor densidad obtuvo esta misma variedad (V3) con la densidad de 187 500 plantas/hectárea (D3), 0.50%. Referente a la interacción de variedades con densidades, se obtuvo un rango de 0.64% a 0.24%, encontrándose que la mayor eficiencia se obtuvo utilizando la variedad Castilla sembrando a densidades 187 500 plantas/ha (V3D3); estos promedios si bien es cierto en el análisis de varianza no muestran diferencia estadísticas significativas entre ellas, pero si se observa que exhibe 5 grupos de letras que significa homogeneidad entre ellos.
2. La **captura de carbono**, en el análisis de varianza se presenta alta diferencia estadística significativa para las fuentes de variación variedad y densidad, encontrada en el cultivo de caupí; para el factor variedad se obtuvo un rango de promedios de 1.18 tm/ha a 0.83 tm/ha; presentándose con mayor eficacia la variedad Castilla (V3); para el factor densidad obtuvo esta misma variedad, Castilla(V3), con la densidad de 187 500 plantas/hectárea (D3), obtuvo el mayor valor de 1.27 tm/ha. En lo concerniente a la interacción de variedades con densidades, se obtuvo un rango de 1.45 tm/ha a 0.71 tm/ha de carbono, encontrándose que la mayor eficiencia se obtuvo utilizando la variedad castilla sembrando a densidades de 187 500 plantas/ ha (V3D3); estos promedios si bien es cierto en la análisis de varianza no muestran diferencia estadísticas significativas entre ellos, pero si se observa que existe 5 grupos de letras que significa homogeneidad de los promedios de tratamiento entre ellos.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación, relacionados con la utilización de la radiación solar (Eficiencia fotosintética) y la captura de carbono en plantas anuales y/o perennes.
- En los trabajos de investigación, sobre eficiencia fotosintética y captura de carbono, incluir prácticas agrícolas, como densidades, aporques, abonos, riegos, etc. que tiendan a incrementar estos índices y consecuentemente los rendimientos de los cultivos.
- En las investigaciones agronómicas, de especies anuales como el Caupí, sorgo, arroz, etc., deben tomarse en cuenta e incluirse los datos referentes a rastrojos de los cultivos (restos de la cosecha), porque estos pueden ser utilizados como materia prima para producir abono verde o compost u otros productos; asimismo estos pueden ser picados y proporcionados como alimento a especies de vacunos, cerdos, búfalos, ovinos, otros; quienes transforman en carne y otros derivados.
- Reforzar el método o técnica de desarrollo en limpio (TDL), mediante el cultivo de especies anuales, para disminuir la polución o contaminación del ambiente.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **Dixon R. K., S. Brown R. A., Houghton A. M., Solomon M. C., Trexler y J. Wisniewski.** Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*. 1994; 263: 185-190.
2. **Toth V. R., Meszaros I., Veres S, Nagy J.** Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *J Plant Physiol*, 2002;159:627-634.
3. **Lattanzi F., Schnyder H., Thornton B.** The Sources of Carbon and Nitrogen. applying Leaf Growth. Assessment of the Role of Stores with Compartmental Models. *Plant Physiol*. 2004;137: 383-395.
4. **Stephens J.** Growing interest in carbon capture and storage (CCS) for climate change mitigation. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* 2(2):4–13. Publicado online 29 de noviembre 2006.
5. **Muchow R. C.** Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Res.*: 1994; 38: 1-13.
6. **Norman M. J. T., Pearson C. J. & Searle P.G. E.** 1995. The ecology of tropical food crops. New York, NY, USA: Cambridge University Press; 1995, 430 pp.
7. **Fisher K. S. & Palmer A. F. E.** Tropical maize. New York, NY, USA: In P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher, eds. *The physiology of tropical field crops*, J. Wiley & Sons; 1984; p. 213-248.
8. **WRI.** Evaluating carbon sequestration projects: A first attempt. World Resources Institute, Washington DC: 2001. Disponible en: www.wri.org.
9. **IPCC.** Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático 2001. Mitigación. Resúmenes del grupo de trabajo III. Resumen técnico; , 2001b. Disponible en: www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/pdf/wg3sum.pdf.

10. **Tello E. R. & Flores F. J.** Potencial de biomasa y carbono del bosque de la llanura aluvial del río Nanay, Perú. Iquitos: Conocimiento Amazónico. UNAP. Vol. 1, N° 1 – Julio-Diciembre-2010; 57-67.
11. **Velázquez A. J. F. Mas Y. J. L. Palacio 2002.** Análisis del cambio de uso del suelo. México: Instituto de Geografía UNAM-INE, Semarnat; 2002. Disponible en: www.ine.gob.mx/dgoece/xid/dgoece/i_usv/.
12. **Almeyara del V. E. V. y Sanchez, Q. E.** Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación de carbono. Comunicaciones Libres. Ciencia, Octubre-diciembre 2015.
13. **Jiménez M. A. M., Reyes S. J. T y Silveira M. L.** Secuestro y distribución de carbono orgánico Del suelo bajo diferentes sistemas de manejo de pasturas. ESA: UF-IFAS Extensión-University of florida; 2018.
14. **Soplin, R. J.** Análisis del crecimiento vegetal. Iquitos-Perú: Universidad nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Agronomía; 1999, 64p.
15. **Benites C. J.** Estimación de la radiación solar en Iquitos. Iquitos-Perú: En: Folia Amazónica. IIAP. Vol. I-N°1: 113-128; 1988.
16. www.elergonomista.com - definición de Eficiencia fotosintética
17. https://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetic_efficiency
18. Wikipedia.org – definición de Captura de carbono
19. <https://deconceptos.com/ciencias-sociales/voluntariado>
20. **García G. S.** Centrales termoeléctricas de Biomasa. Renovetec. Pdf.; 2012.
21. [wikipedia.org/wiki/Diseño experimental](http://wikipedia.org/wiki/Diseño_experimental)
22. <https://es.slideshare.net/alzamoradelosgodos/diseos-experimentales>
23. <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~ivans/aspngen.pdf>

24. <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/variables-estadisticas>
25. **Walker, A. J. & Hay, R. K. M.** An introduction to the physiology of crop yield. Essex, UK: Longman Scientific and Technical; 1989.
26. www.textoscientificos.com/node/887
27. www.dominicanaonline.org
28. **Pearson, C. J. & Hall, A. J.** Maize and pearl millet. In C. J. Pearson, ed. Control of crop productivity, p.141-158. New York, NY, USA: Academic Press; 1984.

ANEXOS

Anexo 1. Eficiencia fotosintética (en porcentaje %) para variedades y densidades en Caupí 2019.

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	0.31	0.42	0.56	0.24	0.29	0.36	0.43	0.50	0.65	3.76	0.42
II	0.35	0.42	0.48	0.22	0.17	0.36	0.47	0.52	0.70	3.69	0.41
III	0.31	0.38	0.48	0.26	0.31	0.39	0.41	0.50	0.61	3.65	0.41
IV	0.31	0.38	0.48	0.26	0.22	0.32	0.43	0.52	0.65	3.57	0.40
TOTAL	1.28	1.60	2.00	0.98	0.99	1.43	1.74	2.04	2.61	14.67	0.41
PROM	0.32	0.40	0.50	0.25	0.25	0.36	0.44	0.51	0.65	0.41	

Anexo 2. Eficiencia fotosintética (%) - Transformada a Raíz Cuadrada % del arco seno - para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	3.19	3.72	4.29	2.81	3.09	3.44	3.76	4.05	4.62	32.97	3.66
II	3.39	3.72	3.97	2.69	2.36	3.44	3.93	4.13	4.60	32.23	3.58
III	3.19	3.53	3.97	2.92	3.19	3.58	3.67	4.05	4.48	32.58	3.62
IV	3.19	3.53	3.97	2.92	2.69	3.24	3.76	4.13	4.62	32.05	3.56
TOTAL	12.96	14.50	16.20	11.34	11.33	13.70	15.12	16.36	18.32	129.83	3.61
PROM	3.24	3.63	4.05	2.84	2.83	3.43	3.78	4.09	4.58	3.61	
PR TR	0.32	0.40	0.50	0.24	0.24	0.36	0.43	0.51	0.64	0.37	
	V1	0.41		V2	0.28		V3	0.53			
	D1	0.33		D2	0.38		D3	0.50			

Anexo 3. Captura de carbono tm/ha - para variedades y densidades en Caupí de la parte aérea de la planta 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	0.80	1.10	1.45	0.70	0.85	1.05	0.95	1.10	1.45	9.45	1.05
II	0.90	1.10	1.25	0.65	0.50	1.05	1.05	1.15	1.55	9.20	1.02
III	0.80	1.00	1.25	0.75	0.90	1.15	0.90	1.10	1.35	9.20	1.02
IV	0.80	1.00	1.25	0.75	0.65	0.95	0.95	1.15	1.45	8.95	0.99
TOTAL	3.30	4.20	5.20	2.85	2.90	4.20	3.85	4.50	5.80	36.80	1.02
PROM	0.83	1.05	1.30	0.71	0.73	1.05	0.96	1.13	1.45	1.02	
	V1	1.06		V2	0.83		V3	1.18			
	D1	0.83		D2	0.97		D3	1.27			

Anexo 4. Altura de planta (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	70.33	68.27	73.94	63.21	62.88	59.94	42.21	35.16	39.38	515.32	57.258
II	85.66	85.49	84.27	47.61	45.21	48.99	91.33	76.49	89.21	654.26	72.696
III	60.49	47.27	44.44	87.16	85.21	62.6	66.55	58.6	69.83	582.15	64.683
IV	81.94	85.6	81.94	73.1	73.44	40.82	29.55	56.75	29.94	553.08	61.453
TOTAL	298.42	286.63	284.59	271.08	266.74	212.35	229.64	227.0	228.36	2304.81	
PROM	74.61	71.66	71.148	67.77	66.69	53.09	57.41	56.75	57.09	64.02	
	V1	72.47		V2	62.51		V3	57.08			
	D1	66.6		D2	65.03		D3	60.44			

Anexo 5. Largo de vaina (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	20.20	20.40	20.00	11.27	11.80	12.13	17.00	16.50	16.40	145.70	16.19
II	19.81	21.05	18.41	11.92	11.02	11.50	16.55	16.78	17.24	144.28	16.03
III	19.50	20.42	19.51	11.53	11.38	11.11	17.60	17.17	15.92	144.14	16.02
IV	19.01	20.83	17.75	11.09	11.47	11.51	16.50	16.00	16.00	140.16	15.57
TOTAL	78.52	82.70	75.67	45.81	45.67	46.25	67.65	66.45	65.56	574.28	
PROM	19.63	20.68	18.92	11.45	11.42	11.56	16.91	16.61	16.39	15.95	
	V1	19.74		V2	11.48		V3	16.64			
	D1	15.99		D2	16.24		D3	15.62			

Anexo 6. Ancho de vaina (cm) para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	1.00	1.00	0.98	0.60	0.56	0.59	0.90	0.87	0.90	7.40	0.82
II	1.00	0.98	1.00	0.62	0.58	0.58	0.92	0.92	0.92	7.52	0.84
III	1.00	0.96	0.99	0.60	0.60	0.56	0.88	0.83	0.88	7.30	0.81
IV	0.99	0.99	0.98	0.59	0.60	0.59	0.89	0.88	0.89	7.40	0.82
TOTAL	3.99	3.93	3.95	2.41	2.34	2.32	3.59	3.50	3.59	29.62	0.82
PROM	1.00	0.98	0.99	0.60	0.59	0.58	0.90	0.88	0.90	0.82	0.09
	V1	0.99		V2	0.59		V3	0.89			
	D1	0.83		D2	0.81		D3	0.82			

Anexo 7. Peso de 100 granos (g) para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	16.00	21.00	23.00	16.00	23.00	25.00	20.72	20.70	23.30	188.72	20.97
II	26.00	17.00	34.00	23.00	24.05	18.00	21.50	21.50	22.50	207.55	23.06
III	24.00	20.50	22.00	16.05	19.05	16.00	31.00	20.05	24.00	192.65	21.41
IV	23.50	23.00	21.10	16.05	15.00	14.05	24.00	19.00	21.50	177.20	19.69
TOTAL	89.50	81.50	100.10	71.10	81.10	73.05	97.22	81.25	91.30	766.12	
PROM	22.38	20.38	25.03	17.78	20.28	18.26	24.31	20.31	22.83	21.28	
	V1	22.59		V2	18.77		V3	22.48			
	D1	19.76		D2	20.32		D3	22.04			

Anexo 8. Número de granos por vainas para variedades y densidades en Caupí 2019.

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	18	17	16	14	14	15	12	12	11	129	14.33
II	18	18	18	15	13	14	12	12	12	132	14.67
III	18	18	16	14	14	13	13	12	11	129	14.33
IV	18	18	18	14	14	14	12	12	12	132	14.67
TOTAL	72	71	68	57	55	56	49	48	46	522	
PROM	18.00	17.75	17.00	14.25	13.75	14.00	12.25	12.00	11.50	14.50	

Anexo 9. Número de granos por vainas- Datos transformados a la raíz cuadrada de x para variedades y densidades en Caupí 2019.

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	4.24	4.12	4.00	3.74	3.74	3.87	3.46	3.46	3.31	33.94	3.77
II	4.24	4.24	4.24	3.87	3.60	3.74	3.46	3.46	3.46	34.31	3.81
III	4.24	4.24	4.00	3.74	3.74	3.60	3.60	3.46	3.31	33.93	3.77
IV	4.24	4.24	4.24	3.74	3.74	3.74	3.46	3.46	3.46	34.32	3.81
TOTAL	16.96	16.84	16.48	15.09	14.82	14.95	13.98	13.84	13.54	136.5	
PROM	4.24	4.21	4.12	3.77	3.71	3.74	3.50	3.46	3.39		
P-real	17.97	17.72	16.97	14.21	13.76	13.99	12.25	11.97	11.49	14.48	
	V1	17.55		V2	13.99		V3	11.90			
	D1	14.81		D2	14.48		D3	14.15			

Anexo 10. Rendimiento de grano (tm/ha) para variedades y densidades en Caupí 2019

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9		
I	1.60	2.20	2.90	1.40	1.70	2.10	1.90	2.20	2.90	18.90	2.10
II	1.80	2.20	2.50	1.30	1.00	2.10	2.10	2.30	3.10	18.40	2.04
III	1.60	2.00	2.50	1.50	1.80	2.30	1.80	2.20	2.70	18.40	2.04
IV	1.60	2.00	2.50	1.50	1.30	1.90	1.90	2.30	2.90	17.90	1.99
TOTAL	6.60	8.40	10.40	5.70	5.80	8.40	7.70	9.00	11.60	73.60	2.04
PROM	1.65	2.10	2.60	1.43	1.45	2.10	1.93	2.25	2.90	2.04	
	V1	2.12		V1	1.66		V1	2.36			
	D1	1.67		D1	1.93		D1	2.53			

Anexo 11. Instrumento de recolección de datos de campo en el experimento de variedades y densidades en Caupí – año.

BLOQ	V1			V2			V3			TOT	PROM
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉		
I											
II											
III											
IV											
TOTAL											
PROM											
P-real											
	V1			V2			V3				
	D1			D2			D3				

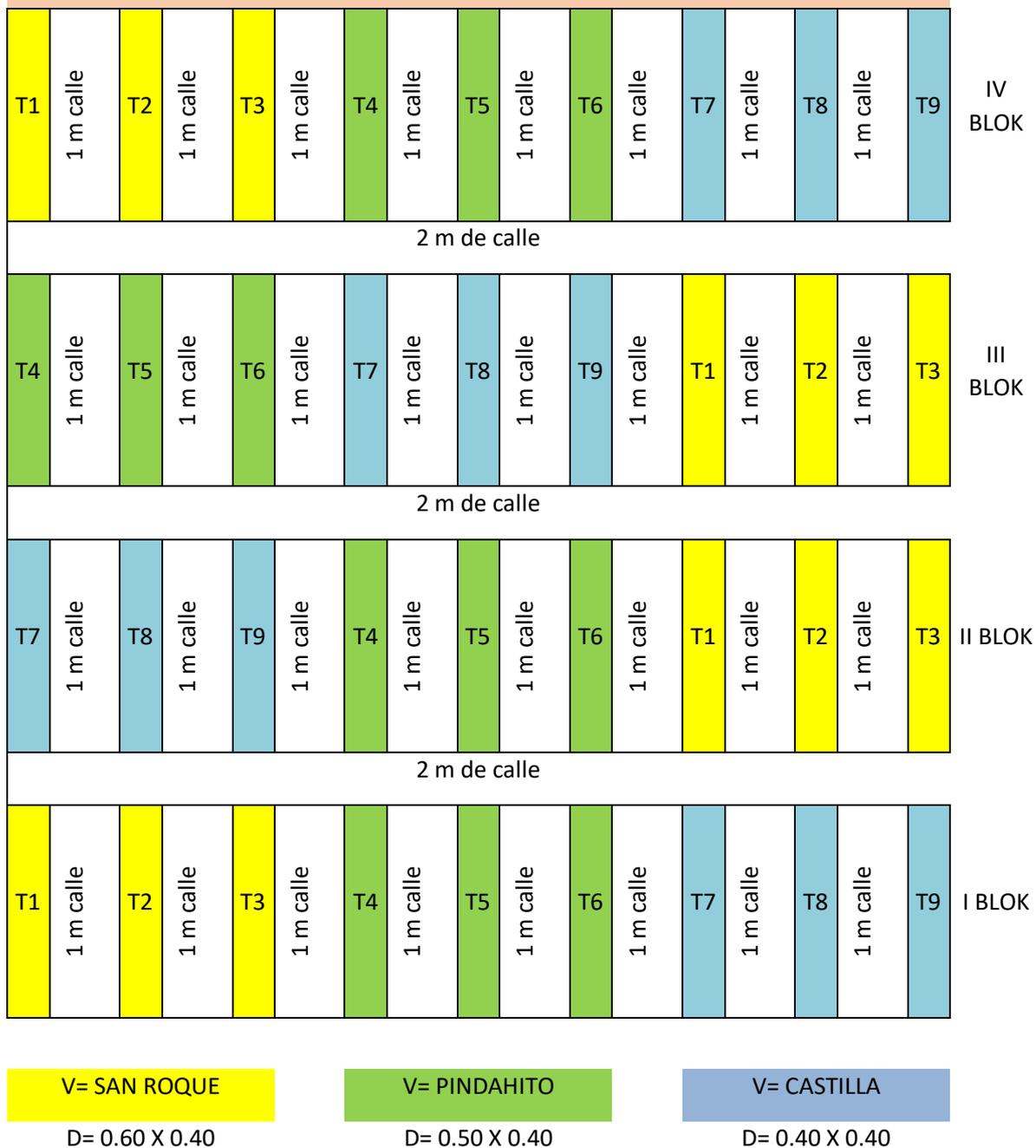
V = Variedades

D = Densidades

- Para la Eficiencia Fotosintética, expresada en %.
- Para la Eficiencia fotosintética expresada en Porcentaje % del arco seno.
- Para la captura de carbono total de la parte aérea (50% del peso seco) expresada en kilogramos por hectárea.
- Peso seco total de la parte aérea- kg/ha.
- Altura de planta a los 75 días de sembrado, expresada en cm.
- Peso fresco total de la parte aérea, expresada en kg/ha.
- Peso seco de 100 granos, expresado en gramos (g).
- Largo de vaina, expresado en cm.
- Ancho de vaina, expresado en cm.
- Rendimiento de granos, expresad en kg/ha.

Anexo 12. Croquis del área experimental

TESIS: EFECTOS DE VARIEDADES Y DENSIDADES SOBRE LA EFICENCIA FOTOSINTETICA Y CAPTURA DE CARBONO EN *Vigna unguiculata*. "Caupi" EN LA ESTACION EXPERIMENTAL "SAN ROQUE", IQUITOS,



Anexo 13. Análisis de caracterización del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIGACIÓN

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 003761

ANÁLISIS DE SUELO CARACTERIZACIÓN

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DEL LABORATORIO

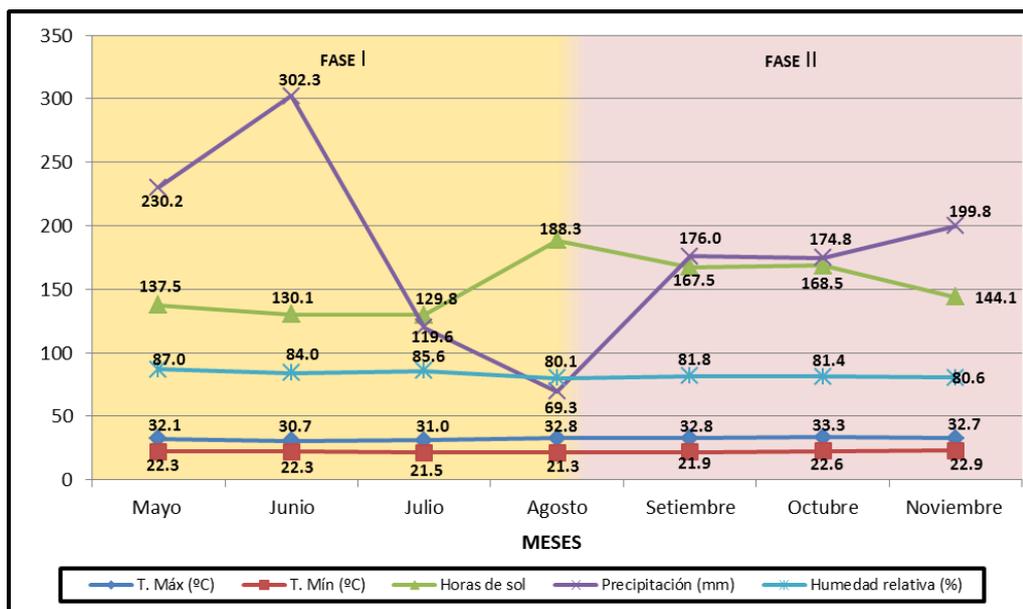


ELEMENTO	RESULTADOS	INTERPRETACION	MÉTODO O EXTRACTANTE
Arena (%)	29.68	Franco Arenoso	Hidrómetro de Boyoucos
Arcilla (%)	19.02		
Limo (%)	51.30		
pH	6.25	Ligeramente Acido	Potenciómetro pH (1:1)
Materia orgánica (%)	2.27	Medio	Walkley y Black
Fósforo disponible (ppm)	6.34	Bajo	Olsen Modificado
Potasio disponible (ppm)	246	Bajo	Extracción con Acetato de Amonio
CIC	23.41		Saturación con Acetato de Amonio pH 7.0
Cationes cambiables (meq/100g)			Absorción Atómica
Ca	19.10		Absorción Atómica
Mg	3.33		Absorción Atómica
K	0.52		Absorción Atómica
Na	0.10		Yuan
Al + H	0.36		

Anexo 14. Datos meteorológicos registrados durante el experimento – año 2019

Meses	Temperatura (°C)			Horas de Sol	Precipit. Pluvial (mm)	Humedad Relativa (%)
	Máxima	Mínima	Promedio			
Mayo	32.1	22.3	27.2	137.5	230.2	87.0
Junio	30.7	22.3	26.5	130.1	302.3	84.0
Julio	31.0	21.5	26.3	129.8	119.6	85.6
Agosto	32.8	21.3	27.1	188.3	69.3	80.1
Setiembre	32.8	21.9	27.4	167.5	176.0	81.8
Octubre	33.3	22.6	28.0	168.5	174.8	81.4
Noviembre	32.7	22.9	28.0	144.1	199.8	80.6

Fuente: SENAMHI – Estación meteorológica C.O. “San Roque” – Iquitos



Fuente: Elaboración propia