

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación del maíz (*Zea mays L.*) y yuca (*Manihot
esculenta Crantz*) en la generación de energía
eléctrica en el distrito de San Ramón, 2021**

Danitza Mayli Cuñivo Muñico
Katia Nayla Inga Granados

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo gracias al apoyo de un grupo humano, por ello, las autoras expresamos nuestro agradecimiento al Sr. Osvaldo Campos Rojas, por habernos brindado el área de estudio para realizar las evaluaciones correspondientes.

Del mismo modo, queremos agradecer a la Sra. Mariluz Muñico, Sra. Nilda Granados, Srta. Josseti Cuñivo, Sr. Rubén Alvarado y demás familiares/amigos por su colaboración en la ejecución de la investigación, quienes nos facilitaron equipos o instrumentos.

Finalmente, agradecemos la asesoría del Dr. Andrés Alberto Azabache Leyton, por su disposición, conocimientos, experiencia y el soporte pertinente.

DEDICATORIA

A nuestros padres, quienes nos brindaron el apoyo en todos los aspectos para llevar a cabo este trabajo, ya que son nuestra fuente de motivación para desarrollarnos personal y profesionalmente.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación del problema	19
1.1.2.1. Problema general	19
1.1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. Justificación e importancia	20
1.3.1. Justificación.....	20
1.3.2. Importancia.....	20
1.4. Hipótesis y descripción de variables	21
1.4.1. Hipótesis de investigación	21
1.4.1.1. Hipótesis nula	21
1.4.1.2. Hipótesis alternativa	21
1.4.2. Hipótesis específicas.....	21
1.5. Descripción de variables.....	22
1.5.1. Independiente.....	22
1.5.2. Dependiente	22
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24

2.1. Antecedentes del problema	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	27
2.2. Bases teóricas	28
2.2.1. Zona de estudio.....	28
2.2.1.1. Condiciones climatológicas.....	28
2.2.2. Electricidad.....	29
2.2.2.1. Carga eléctrica.....	29
2.2.2.2. Corriente eléctrica.....	30
2.2.2.3. Energía eléctrica.....	30
2.2.2.4. Ley de Ohm	30
2.2.2.5. Circuito eléctrico	32
2.2.3. Fuentes de energía eléctrica en el Perú.....	33
2.2.4. La fotosíntesis	33
2.2.4.1. El proceso de fotosíntesis.....	34
2.2.4.2. Etapas de la fotosíntesis.....	35
2.2.4.3. Tipos de fotosíntesis.....	36
2.2.5. Energía eléctrica a base de fotosíntesis.....	37
2.2.6. Especies vegetales.....	39
2.2.6.1. El maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	39
2.2.6.2. La yuca (<i>Manihot esculenta crantz</i>)	44
2.2.7. Fenología	47
2.2.7.1. <i>Zea mays L.</i>	47
2.2.7.2. <i>Manihot esculenta Crantz</i>	50
2.2.8. Suelo	52
2.2.8.1. Propiedades físicas	52
2.2.8.2. Propiedades químicas	53
2.3. Definición de términos básicos	55
CAPÍTULO III.....	57
METODOLOGÍA	57
3.1. Método y alcance de la investigación	57
3.1.1. Método de la investigación	57
3.1.2. Alcance de la investigación	58
3.2. Diseño de la investigación	58

3.3. Población y muestra	59
3.3.1. Población.....	59
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	61
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	61
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	65
3.4.3. Técnicas de análisis de datos	65
CAPÍTULO IV.....	66
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	66
4.1.1. Cuantificación de la generación de energía eléctrica de <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	66
4.1.1.1. Generación de energía eléctrica: especie <i>Zea Mays L.</i>	66
4.1.1.2. Generación de energía eléctrica por la especie <i>Manihot esculenta C.</i>	67
4.1.2. Biomasa vegetal según etapa fenológica de la especie <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	69
4.1.2.1. Biomasa vegetal en estado vegetativo de la especie <i>Zea mays L.</i>	69
4.1.2.2. Biomasa Vegetal en crecimiento lento de la especie <i>Manihot esculenta C.</i>	70
4.1.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo donde se evalúa la generación de energía eléctrica de las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	71
4.1.3.1. Determinación de pH del suelo de la especie <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	71
4.1.3.2. Determinación de la temperatura del suelo de la especie <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	72
4.1.3.3. Determinación de la humedad del suelo de la especie <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>	74
4.2. Prueba de hipótesis	75
4.2.1. Comprobación de la hipótesis específica 1	75
4.2.2. Comprobación de la hipótesis específica 2	76
4.2.3. Comprobación de la hipótesis específica 3	82
4.3. Discusión de resultados	84

4.3.1. Voltaje y energía eléctrica	84
4.3.2. Biomasa	86
4.3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	87
4.3.3.1. Temperatura	87
4.3.3.2. Reacción.....	88
4.3.3.3. Humedad	89
Conclusiones.....	90
Recomendaciones.....	92
Lista de referencias	93
Anexos	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	23
Tabla 2. Límites del distrito de San Ramón.....	28
Tabla 3. Clasificación taxonómica del maíz.....	40
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la yuca (Manihot esculenta C.).....	45
Tabla 5. Etapa fenológica del maíz	47
Tabla 6. Datum, zona y coordenadas UTM de la especie Zea mays L.	60
Tabla 7. Datum, zona y coordenadas UTM de la especie Manihot esculenta C.	60
Tabla 8. Elaboración del sistema eléctrico	63
Tabla 9. Voltaje (V) de la especie Zea mays L.	66
Tabla 10. Intensidad de corriente (A) de la especie Zea mays L.....	67
Tabla 11. Energía eléctrica (Joule) generada de cada muestra de la especie Zea mays L.....	67
Tabla 12. Voltaje (V) de la especie Manihot esculenta C.	67
Tabla 13. Intensidad de corriente (A) de la especie Manihot esculenta C.....	68
Tabla 14. Energía eléctrica (Joule) por muestra de la especie Manihot esculenta C.	68
Tabla 15. Biomasa vegetal (g) de la especie Zea mays L.	69
Tabla 16. Biomasa vegetal (g) de la especie Manihot Esculenta C.....	70
Tabla 17. pH del suelo de la especie Zea mays L.....	71
Tabla 18. pH del suelo de la especie Manihot esculenta C.	71
Tabla 19. Temperatura del suelo (°C) de la especie Zea mays L.....	72
Tabla 20. Temperatura del suelo (°C) de la especie Manihot Esculenta C.	73
Tabla 21. Humedad del suelo (%) de la especie Zea mays L.	74
Tabla 22. Humedad del suelo (%) de la especie Manihot esculenta C.	74
Tabla 23. Pruebas de normalidad de la biomasa	75
Tabla 24. Análisis de varianza de la biomasa	76
Tabla 25. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH	77
Tabla 26. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del suelo	78
Tabla 27. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura	79
Tabla 28. Prueba de Kruskal-Wallis para la temperatura del suelo.....	80

Tabla 29. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la humedad del suelo ...	81
Tabla 30. Prueba de Kruskal-Wallis para la humedad del suelo	81
Tabla 31. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la energía eléctrica	83
Tabla 32. Prueba de Kruskal-Wallis para la energía eléctrica	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación en la producción de energía eléctrica según fuente energética.....	16
Figura 2. Producción de energía de centrales RER según fuente energética ..	16
Figura 3. Circuito eléctrico simplificado	32
Figura 4. Conexiones de un circuito en serie	33
Figura 5. Modelo del sistema de generación de energía eléctrica en el maíz ..	38
Figura 6. Modelo del sistema de generación de energía eléctrica en la yuca ..	38
Figura 7. Circuito eléctrico con conexión en serie	39
Figura 8. Plantas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en la etapa de estadio vegetativo... ..	44
Figura 9. Plantas de yuca (<i>Manihot esculenta</i> C.) en la etapa fenológica de crecimiento lento.	47
Figura 10. Cambios externos de las etapas fenológicas del maíz	48
<i>Figura 11. Ciclos de crecimiento de la yuca.....</i>	<i>52</i>
Figura 12. Mapa de ubicación de la zona de muestreo	60
Figura 13. Zona de muestreo del maíz y yuca.	61
Figura 14. Ánodo y cátodo	63
Figura 15. Diagrama de los procedimientos de metodología de investigación.	65
Figura 16. Caja de bigotes de la energía eléctrica (Joule) de las especies <i>Zea mays</i> L. y <i>Manihot esculenta</i> C.....	69
Figura 17. Biomasa vegetal (g) de la especie <i>Zea mays</i> L. y <i>Manihot esculenta</i> C.....	70
Figura 18. pH del suelo de la especie <i>Zea mays</i> L. y <i>Manihot esculenta</i> C.	72
Figura 19. Temperatura del suelo (°C) de la especie <i>Zea mays</i> L. y <i>Manihot Esculenta</i> C.	73
Figura 20. Humedad del suelo (%) de la especie <i>Zea mays</i> L. y <i>Manihot esculenta</i> C.....	74
Figura 21. Prueba de Duncan para la biomasa vegetal.	76
Figura 22. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del suelo.	78
Figura 23. Prueba de Kruskal Wallis para la temperatura del suelo.....	80
Figura 24. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de humedad del suelo.....	82
Figura 25. Prueba de Kruskal Wallis para la energía eléctrica.	84

RESUMEN

La presente tesis evaluó a las especies de maíz (*Zea mays L.*) y yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en la generación de energía eléctrica en el distrito de San Ramón, 2021, teniendo en cuenta la etapa fenológica de las plantas, las condiciones fisicoquímicas del suelo y la biomasa vegetal. El sistema eléctrico se basó en el uso de un ánodo y cátodo para poder captar los electrones libres. Para ello, se implementó dicho sistema en las 10 muestras de cada planta de maíz y yuca, en la etapa fenológica de estadio vegetativo y crecimiento lento respectivamente, el circuito eléctrico estuvo conectado en serie (suma de voltaje). Durante una semana se midió el pH, humedad y temperatura del suelo, asimismo, la biomasa vegetal de cada especie. Por último, se evaluó la cantidad de energía eléctrica generada por ambas especies, a pesar de que el maíz (*Zea mays L.*) y la yuca (*Manihot esculenta C.*) no generaron valores elevados, con una mínima diferencia la especie *Zea mays L.* presentó datos mayores de voltaje e intensidad de corriente respecto a la especie *Manihot esculenta C.*

Palabras claves: energía eléctrica, *Manihot esculenta C.*, sistema eléctrico, voltaje, *Zea mays L.*

ABSTRACT

This paper evaluates generating electrical power about species *Zea mays L.* and *Manihot esculenta C.* in the district of San Ramón, 2021, considering the phenological stage of the plants, the physical-chemical conditions of the soil and the plant biomass. The electrical system was based on the use of an anode and cathode to be able to capture the free electrons. For this, this system was implemented in the 10 samples of each corn plant and yucca, in the phenological stage of vegetative state and slow growth respectively, the electrical circuit was connected in series (sum of voltage). During a week the soil pH, humidity and temperature were measured, as well as the plant biomass of each species. Finally, the amount of electrical energy generated by both species was evaluated, even though corn (*Zea mays L.*) and cassava (*Manihot esculenta C.*) didn't generate high values, with a minimal difference in the species *Zea mays L.* presented higher voltage and current intensity data with respect to the species *Manihot esculenta C.*

Keywords: electrical power, electrical system, *Manihot esculenta C.*, voltage, *Zea mays L.*

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de la electricidad, sin lugar a dudas, es uno de los grandes acontecimientos más importantes de la historia de la humanidad, gracias a ello se puede satisfacer en gran mayoría las necesidades. Las fuentes de generación de energía eléctrica proceden de los recursos renovables y no renovables, la fuente convencional en mayor porcentaje procede de la quema de combustibles fósiles; pero yendo más allá de los beneficios, este gran aporte ha traído consigo impactos negativos al ambiente por muchos años, teniendo al calentamiento global que es propiciado por la aglomeración de gases de efecto invernadero, teniendo a las principales potencias mundiales como generadores de gases de efecto invernadero, al ritmo que se avanza, se va poniendo en riesgo la sobrevivencia de la especie humana y demás seres vivos. A estas alturas del siglo XXI, los avances tecnológicos y la información que se maneja cuenta con un sinfín de recursos de características renovables que se puede utilizar como fuente de energía eléctrica.

Aparte de contribuir con una gran cantidad de porcentaje de oxígeno que mantiene con vida, las plantas, a través del proceso complejo llamado fotosíntesis, también pueden cooperar para la generación de energía eléctrica, a partir de la energía restante ubicada en la rizósfera, al ser captada adecuadamente; la idea es aprovechar esta materia prima de manera sostenible, es necesario comprender las variables que giran en torno a este ser vivo, para ser precisos, tener de conocimiento el tipo de fotosíntesis que desarrollan. Para tener una perspectiva más amplia es necesario plantear más de una especie de planta para manejar mayor información. En consecuencia, la presente investigación busca evaluar la cuantificación de generación de energía eléctrica por *Zea mays L.* y *Manihot esculenta Crantz* en el distrito de San Ramón, 2021, según su desarrollo fenológico y factores ambientales prevalentes; en base a ello, se podría predecir la magnitud de generación de energía eléctrica para poder combatir o minimizar la contaminación ambiental generada por los gases de efecto invernadero. Es urgente plantear posibles soluciones para ver cambios

en el entorno, llevar a cabo experimentos acercarán a la solución que va a mejorar la vida del ser humano y se desarrollará energía no contaminante.

La investigación se encuentra dividida en 4 capítulos: en el capítulo I se hizo el planteamiento del estudio, teniendo como formulación del problema la siguiente pregunta: ¿En qué medida las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta Crantz* generan energía eléctrica en el distrito de San Ramón, 2021?, asimismo, se plantearon los objetivos, tanto general como específicos, la justificación e importancia, además la hipótesis de investigación y operacionalización de las variables.

En el capítulo II se muestra el marco teórico, mediante el uso de fuentes primarias y secundarias, teniendo a los antecedentes como sustento del trabajo de investigación, además, las bases teóricas y conceptos básicos permiten comprender las relaciones de los temas que se abordan.

En el capítulo III se abordó la metodología, donde se explica cómo se ejecutó la investigación, se detalla el método general y específico, alcance, diseño de investigación, población, muestra y la técnica de recolección de datos.

En el capítulo IV se muestran los resultados y el análisis según los objetivos planteados, además, las pruebas de hipótesis. En la discusión, se compararon los resultados con otros autores.

Finalmente, se concluye que se logró mediante la instalación de un sistema eléctrico que estuvo compuesto por un ánodo y cátodo que se encontraban en la zona de la rizosfera de cada planta, y estos a su vez tenían contacto con un circuito en serie, donde los datos obtenidos durante una semana del voltaje osciló entre 0,3 V a 0,5 V en ambas especies, al realizarse la sumatoria se obtuvo 4.46 V en el maíz y 4.24 V en la yuca, y respecto a la energía eléctrica los datos fueron de 0.0403 J del maíz y 0.0375 J de la yuca.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Los combustibles fósiles están compuestos, fundamentalmente, por carbono procedentes de depósitos de hidrocarburos fósiles, incluidos el carbón, el petróleo y el gas natural (1). Por definición, el petróleo se origina a partir de la materia orgánica de seres que vivieron hace millones de años y que fue depositada junto a otros materiales sólidos en el fondo de mares o lagunas, se descompuso y fue enterrada por los sedimentos acumulados. La mayor profundidad y presión, la falta de aire y temperatura, junto a procesos físicos y químicos, produjeron petróleo (2).

A nivel mundial, el petróleo proporciona un tercio de las necesidades energéticas globales, el carbón más de una cuarta parte y el gas natural más de un quinto (3).

Desde 2004, las centrales de gas natural adquirieron mayor protagonismo como generadoras de energía, convirtiéndose, junto a las grandes hidroeléctricas, en las principales fuentes de producción eléctrica del país. La producción de energía en el Perú está concentrada básicamente en dos fuentes, hidráulica y gas natural, con las que en

conjunto se generó el 92.4% del total de energía producida en 2018. En tanto, los RER superaron apenas el 7% de participación (4).

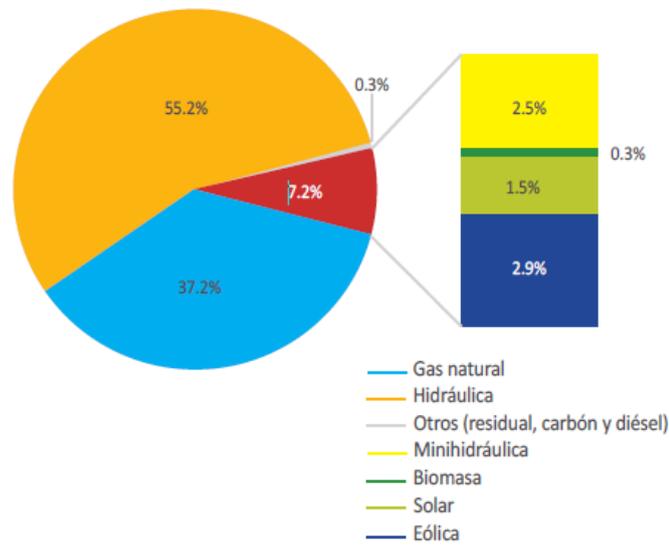


Figura 1. Participación en la producción de energía eléctrica según fuente energética (4) (p. 40)

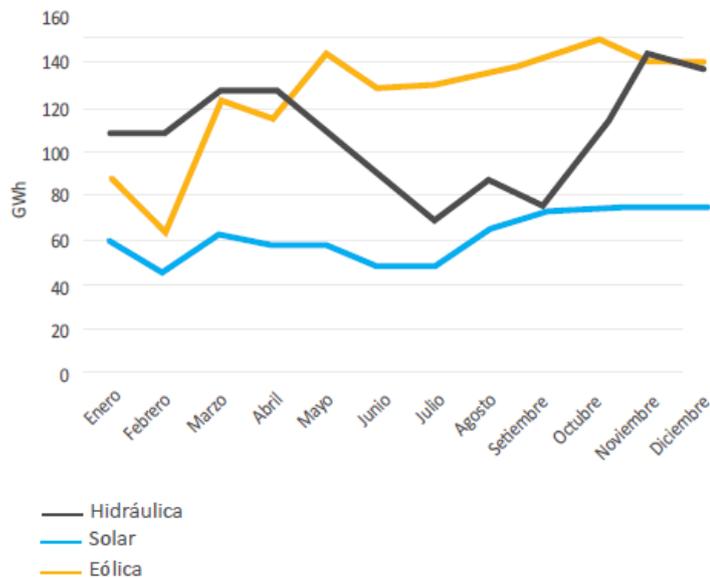


Figura 2. Producción de energía de centrales RER según fuente energética (4) (p. 40)

Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) se caracterizan por su carácter finito, su disponibilidad geográfica limitada, su baja tasa de generación en función de su velocidad de consumo, y la contaminación ambiental asociada a su extracción y conversión en otros tipos de energía, son extraídos y transportados desde su lugar de origen hasta las centrales

de generación eléctrica en las que deben ser quemados, provocando la liberación de GEI (gases de efecto invernadero) a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático; otro punto importante es el agotamiento de estos recursos (petróleo y gas), en el caso del petróleo, la intensa explotación a la que ha sido sometido este recurso ha reducido su ratio reservas/producción hasta alrededor de 45 años, lo que le convierte en el combustible fósil más escaso, concentrándose más de la mitad de las reservas probadas en Oriente Medio y cerca de un 20% adicional en la antigua Unión Soviética (3).

La revolución tecnológica y el crecimiento poblacional han logrado que la demanda energética vaya en aumento, y con ello se genera la dependencia de las naciones por las fuentes energéticas tradicionales: el carbón y el petróleo. Estos combustibles generan una gran preocupación por la relación directa que existe entre el consumo de combustibles fósiles y el impacto negativo en el ambiente (5).

Desde hace unos años se vienen evidenciando los inconvenientes relacionados con los combustibles convencionales (fósiles) que actualmente abastecen a los medios de transporte como son el transporte terrestre, la aviación y el transporte marítimo, además de los motores térmicos y quemadores/calderas, ampliamente utilizados en la industria y el sector de producción energética mediante fuentes no renovables que traen consigo consecuencias directas que se reflejan en los fenómenos climáticos, geopolíticos y económicos que suceden actualmente (6).

A nivel mundial el cambio climático es una realidad y se evidencia en el incremento de la temperatura global, aumento del nivel de los océanos mundiales, deshielo generalizado de nevados, glaciares, mantos polares, y mayor variabilidad de las precipitaciones. Las emisiones de GEI son generados por la actividad humana (antropogénicos), siendo los siguientes gases: el dióxido de carbono o CO₂, metano y óxido nitroso o N₂O. En cuanto a la emisión de CO₂, el 56.6% proviene del uso de combustibles fósiles, seguida por la deforestación y degradación de la

biomasa, con un 17.3%. El metano se origina en la producción y manipulación de combustibles. Por último, el óxido nitroso proviene principalmente de las emisiones del transporte, fuentes industriales y del uso de fertilizantes y químicos en la actividad agropecuaria. En tal sentido, las fuentes principales de los GEI emitidos por la humanidad son la actividad industrial, el sector energía y, en menor medida, la actividad agropecuaria. Teniendo en cuenta lo mencionado, lo ideal es optar por la introducción de energías renovables existentes o la búsqueda de nuevas alternativas, que sean inagotables y no perjudiciales para el medio ambiente.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) realizó un informe donde los científicos afirmaban que se cuenta con los recursos y el tiempo suficiente para evitar que el calentamiento global supere 1.5 °C a final de siglo. Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1.0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0.8 °C a 1.2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1.5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual. En la superficie terrestre, se prevé que los impactos en la biodiversidad y en los ecosistemas, entre ellos la pérdida y la extinción de especies, sean menores con un calentamiento global de 1.5 °C que, con uno de 2 °C, se calcula que los impactos en los ecosistemas terrestres, costeros y de agua dulce serán menores y que se conservarán más servicios ecosistémicos para los seres humanos (7).

Una de las fuentes principales de propiciar la vida y un aliado para contrarrestar el cambio climático son las plantas por el rol importante que cumplen en el planeta Tierra, este factor biótico proporciona alimento a casi todos los organismos terrestres, recicla materia mediante ciclos biogeoquímicos, proporciona productos (leña, madera, fibras, medicinas, colorantes, pesticidas, aceite), crea hábitats para muchos organismos y mantienen la atmósfera, este último siendo casi el más importante, porque las plantas producen oxígeno y absorben dióxido de carbono durante la

fotosíntesis. En los últimos años, mediante publicaciones científicas y proyectos se pudo dar a conocer que las plantas pueden generar energía eléctrica por medio de sus hojas que captan la energía proveniente del Sol (energía lumínica) y la transforman en energía eléctrica mediante el proceso de la fotosíntesis, finalmente lo liberan por medio de sus raíces, se aproxima que una planta produce 0.2 a 0.3 V (8).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿En qué medida las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* generan energía eléctrica según su desarrollo fenológico y condiciones de suelo en el distrito de San Ramón, 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué cantidad de biomasa tienen *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica?
- ¿Qué características tiene el suelo donde se evalúa la fijación eléctrica en *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*?
- ¿Cuál de las dos especies evaluadas genera mayor energía eléctrica?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la cuantificación de la generación de energía eléctrica por *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* según su desarrollo fenológico y condiciones de suelo en el distrito de San Ramón, 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la biomasa vegetal de *Zea mays L.* y *Manihot esculenta Crantz* en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica.

- Analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se evalúa la generación de energía eléctrica de las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*
- Estimar la generación de energía eléctrica en las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* en el distrito de San Ramón.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

El cambio climático es una realidad, que ha llevado a realizar cambios en el modo de vivir, ante esta problemática ambiental que afronta el planeta, se procuran soluciones como la búsqueda de nuevas fuentes de energía que no generen impactos negativos al medio ambiente.

Mediante investigaciones se dio a conocer que las plantas a través del proceso de fotosíntesis pueden proporcionar energía eléctrica, pero dicha información se encuentra limitada, esto se debe a la complejidad de diversidad de las plantas, en consecuencia, surge la necesidad de desarrollar investigaciones donde se lleven a cabo experimentos, utilizando diversas especies de plantas para determinar su eficiencia, teniendo en consideración los diversos factores que puedan influir en la generación de energía eléctrica. Mediante los resultados de la presente investigación se pretende observar la variabilidad en las cantidades de producción de energía eléctrica de cada especie o de planta según las condiciones del suelo y su etapa fenológica, dichos datos servirán para saber qué tipo de carga se podrá alimentar, y cómo podrían contribuir a reducir el uso de energía convencionales, asimismo, servirá como antecedente para poder comparar con otras investigaciones similares que también promueven la investigación de energías limpias.

1.3.2. Importancia

Las energías renovables van cobrando importancia, porque se ha comprobado que es efectiva, pero como se sabe, algunas de estas tecnologías demandan costos elevados de instalación y mantenimiento, que por ahora solo las grandes industrias u organizaciones tienen acceso.

Por ello, es necesario investigar acerca de las nuevas fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica, destacando entre ellas el uso de las plantas; al ser un tema reciente, requiere recabar información desde el tipo de planta, la etapa fenológica, condiciones del ambiente, caracterización del suelo hasta su eficiencia, todo ello es importante para la investigación científica, a partir de ello, en un futuro, los hogares podrían ser suministrados de energía eléctrica a partir de plantas, ya sea de terrenos de cultivos o maceteros. Esta extraordinaria investigación donde se tiene como materia prima a las plantas contribuye al cuidado del medio ambiente, y al cumplimiento del ODS N.º 7: energía asequible y no contaminante.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis de investigación

Las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* generan valores significativos de energía eléctrica en la etapa inicial de su desarrollo fenológico y según las condiciones del suelo donde se desarrollan.

1.4.1.1. Hipótesis nula

Las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* no generan valores significativos de energía eléctrica en la etapa inicial de su desarrollo fenológico y según las condiciones del suelo donde se desarrollan.

1.4.1.2. Hipótesis alternativa

Las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* generan energía eléctrica a partir de la captación de electrones libres.

1.4.2. Hipótesis específicas

- *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* presentan diferente peso de biomasa en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica.
- Los suelos donde crecen las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* tienen propiedades fisicoquímicas variables.

- Las especies de plantas *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* generan diferentes cantidades de energía eléctrica.

1.5. Descripción de variables

1.5.1. Independiente

- Maíz (*Zea mays L.*)
- Yuca (*Manihot esculenta C.*)

1.5.2. Dependiente

- Energía eléctrica

Indicadores:

- Voltaje medido
- Corriente medida

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable		Dimensiones	Definición conceptual	Indicador	Unidad de medida	Tipo de variable	Escala de medición
Variable dependiente	Energía eléctrica	Generación de energía eléctrica	Movimiento de electrones que se trasladan por un conductor eléctrico durante un determinado periodo.	Voltaje medido	miliVoltios (mV)	Cuantitativo continua	Razón
				Corriente medida	miliAmperio (mA)	Cuantitativo continua	Razón
Variable independiente	Especies vegetales	Biomasa vegetal	Resultado directo de la actividad fotosintética de los vegetales.	<i>Zea mays</i> L.	-	Cuantitativo	g
				<i>Manihot esculenta</i> Crantz	-	Cuantitativo	g

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo “*Generación de electricidad a base de fotosíntesis*” (9), se planteó comprobar la eficiencia de las plantas para poder generar electricidad, se realizaron pruebas con cuatro plantas diferentes, las plantas fueron Aloe barbadensis (sábila), Sansevieria trifasciata (lengua de tigre), Pelargonium citrosum (citronela) y Gazania x hybrida (gazania), se realizaron conexiones para obtener la energía, colocaron un ánodo y un cátodo en la rizosfera de la planta para que el diámetro donde se lleva a cabo la rizodeposición se reduzca y la expansión de electrones sea menor, de esa manera la captación de energía será mayor. Asimismo, realizaron otras actividades como fue el diseño de un sistema electrónico para el almacenamiento de la energía y un módulo “maceta” para que el prototipo cumpla con la estética deseada, la recolección de datos fue durante una semana, debido que al momento de realizar los monitoreos, las plantas ya habían cumplido la etapa de adaptación al suelo del macetero, para mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica se diseñaron unas celdas de tierra donde se habilitó una conexión en serie-paralelo para activar voltaje y corriente. Ellos lograron cargar un dispositivo móvil (celular), solo una carga por día, en dicho trabajo de

investigación las autoras trabajan con 5 plantas tipo C₃, donde los datos oscilan entre 0.4 V hasta 9 V. Finalmente, se concluye que se debe seguir investigando para brindar aportaciones en el desarrollo de un prototipo con mejores condiciones, y así continuar avanzando para poder generar una nueva fuente de energía limpia (9).

Dicha información brinda detalles de cómo obtener energía eléctrica en base a la implementación de un sistema en la rizosfera de la planta, asimismo, sirvió de referencia para el número de días para la recolección de datos.

El artículo “*Generación eléctrica a partir de la fotosíntesis natural; ¿una realidad escalable?*” (10), abordó el proceso y reacciones mediante el cual se genera la energía eléctrica mediante el proceso de fotosíntesis, además se buscó obtener resultados en base a una prueba experimental, para ello, se utilizó la margarita (*Bellis Perennis*), por ser una planta que se adapta a climas cálidos, es decorativa y de fácil acceso; para el sistema eléctrico se hizo uso de electrodos donde se tuvo al cobre como ánodo y al zinc como cátodo, debido a que su composición electroquímica permitió una reacción redox. Los electrodos tenían una dimensión de 10 cm de largo con un grosor no mayor a los 0.5 cm de diámetro, posteriormente, se diseñó una malla de cobre para poder atrapar más electrones y obtener voltaje mayor (10).

Los resultados de la medición obtenida del contacto directo de los electrodos de zinc y cobre con la planta fueron de 0.909 V, tanto para la Fase Luminosa como de la Fase Fijadora de Carbono, con una variación de ± 0.05 V, de acuerdo a las condiciones de humedad de la planta, y ampliando el área del resultado de la medición se obtuvo 1.150 V, donde se observó una mejora significativa del 26.5% en comparación con los electrodos convencionales de forma cilíndrica.

El estudio confirmó que, sí es posible generar energía eléctrica, además, concluyen que al ampliar el área para realizar la reacción redox

fue mayor el flujo eléctrico, además sugieren el uso de microorganismos que aumenten el proceso de descomposición orgánica y con ella del flujo de electrones a través de los electrodos (10).

Este trabajo tiene relación con el trabajo en curso, ya que explica cómo se da el proceso de liberación de electrones según las condiciones de la planta y propone aumentar el área de electrodos para aumentar los valores de la energía eléctrica.

En ese mismo sentido, en el artículo "*High photo-electrochemical activity of thylakoid-carbon nanotube composites for photosynthetic energy conversion*" (11), se desarrolló una forma de intervenir en la fotosíntesis para captar electrones, e impedir que las plantas los utilicen para producir azúcares y así poder aprovecharlo en la generación de energía eléctrica y con ella cargar dispositivos pequeños, con la finalidad de que en el futuro se pueda optimizar el sistema y llegue a competir con los paneles solares (11).

Por otro lado, a través de la tesis "*Desarrollo de un prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas*" (12), se logró evidenciar la generación de voltaje y corriente, estos autores utilizaron tres plantas: lechuga, anís y hierbabuena, que fueron colocados en celdas en el cual incluyeron materia orgánica en descomposición para incrementar la corriente, a partir de los experimentos que realizaron, concluyeron que la tierra juega un papel importante en la obtención de energía a través de las plantas, debido a que ellas suministran las bacterias necesarias para el proceso de formación y transporte de electrones, por lo tanto, el agregar compuestos o mezclas ricas en microorganismos ayudarán a tener un mejor resultado. Asimismo, tomaron en cuenta evaluar durante tres días la influencia de la variable temperatura y humedad en macetas sin adición de materia orgánica, donde los valores de humedad no tuvieron un gran cambio, en la planta de la lechuga se puede observar una disminución de voltaje cuando la tierra disminuye su humedad, comenzando con un valor

de 0.37 V y terminando con un valor de 0.25 V, en el caso de la planta de anís se puede observar que existe un aumento de voltaje a medida que va disminuyendo la humedad, su valor inicial es de 0.37 V y su valor final de 0.5 V, y en la planta de la hierbabuena, expuesta, no es claro el efecto que produce la humedad en la obtención de voltaje, por lo tanto se puede afirmar que el resultado es independiente a la humedad del terreno; respecto a la temperatura, este osciló entre 13 °C hasta 32 °C con 0.3 V en la lechuga, 0.4 V el anís y 0,6 V la hierba buena; se dedujo que aunque existen variaciones en el voltaje, no hubo cambios significativos, lo cual no garantizó que la temperatura sea un gran influyente en la tensión obtenida a través de las plantas (12).

Este trabajo brinda datos de voltajes obtenidos, considerando a la variable humedad y temperatura, siendo estos últimos las variables que se consideran en esta investigación, por ende, sirve de referencia para evaluar la cantidad de energía eléctrica generada.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El Perú no es ajeno a este tipo de investigación; en la tesis “*Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martín de Porres, 2017*” (8), se presentó una mayor cantidad de plantas a utilizar en comparación de otros trabajos de investigación, la muestra fue conformada por 36 plantas de la especie *Ipomea purpurea* y 36 plantas de la especie *Palma areca*, donde *Palma areca* produjo 23.375 J, siendo mayor en un 9.3% de energía más que *Ipomea purpurea*, que produjo 21.2 J, las variables que consideró fue el pH y temperatura del suelo, radiación solar y área foliar de las plantas. El pH del suelo se mantuvo constante para ambas plantas, por lo tanto, este no es un factor que influya en la producción de energía, ya que se produce mayor o menor energía y este no varió, respecto a la temperatura del suelo se evidenció gran influencia puesto que osciló entre 11,5 °C hasta 20 °C según transcurría los días indicando una relación directamente proporcional con el aumento de energía eléctrica. La autora concluye que el área foliar, temperatura y

radiación solar influye en la generación de la energía eléctrica, pero no es el caso del pH, ya que se obtuvo un pH promedio de 5 (8).

En el caso del artículo “*Fotosíntesis a partir de plantas vivas*” para lograr encender un foco de 6 V, se utilizaron 8 celdas biológicas de cuatro especies diferentes de plantas (geranio, maíz, fitonia y corazón de Jesús). Las celdas biológicas fueron fabricadas utilizando electrodos (zinc y cobre) como ánodo y cátodo, colocándolos en serie para obtener el mayor voltaje posible, las medidas del voltaje se tomaron en tres diferentes partes del día durante un periodo de 30 días (13).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Zona de estudio

Es la zona geográfica que da contexto al estudio, abarca un área delimitada, es decir, es el lugar donde se evaluaron los datos de esta investigación. La zona de estudio de la presente investigación es el distrito de San Ramón, uno de los seis distritos de la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, cuenta con una superficie de 623,00 km², pertenece a la selva alta con una altitud de 813 m s. n. m. (14).

Tabla 2. Límites del distrito de San Ramón

Direcciones	Distritos
Este	Chanchamayo
Oeste	Palca
Norte	Chanchamayo
Sur	Vitoc

Nota: tomada de la página web de la municipalidad del distrito de San Ramón

2.2.1.1. Condiciones climatológicas

A) Temperatura

Es el grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera; el distrito de San Ramón cuenta con una temperatura media anual máxima de 29.9 °C y el promedio anual es de 23.2 °C, con

promedios mensuales máximos extremos de 30 °C y mínimos mensuales inferiores a 19 °C (15).

B) Humedad relativa

Es el contenido de vapor de agua en el aire. Se expresa como humedad absoluta, específica o razón de mezcla. Generalmente, se habla de humedad relativa, que indica el grado de saturación de la atmósfera, es decir, qué tan cerca o lejos está el vapor de agua que hay en el aire del punto de condensación. La humedad relativa se expresa en porcentaje (%). La humedad en la selva es muy alta a lo largo del año (16).

C) Precipitación

Es el agua que cae a la superficie terrestre desde la atmósfera. La precipitación media de la provincia de Chanchamayo tiene un régimen bien definido y está caracterizado por dos temporadas diferentes: la primera, lluviosa, que generalmente se inicia en el mes de octubre con 176.9 mm y noviembre con 156.5 mm como máximo y en el mes de febrero con 255.0 mm y marzo con 252.5 mm; y la segunda, de lluvias moderadas, que se inicia en junio con un registro medio de 90.9 mm y termina en agosto con 94.5 mm. La precipitación pluvial promedio anual acumulada es de 1949.0 mm/año. Como es característico en la zona de la selva, la humedad relativa presenta poca variación durante el año, siendo el promedio mínimo 76% y el promedio máximo 86% (15).

2.2.2. Electricidad

2.2.2.1. Carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad eléctrica de la materia medida en coulomb (C). Las cargas eléctricas iguales se repelen y las opuestas se atraen. La fuerza que se crea entre las cargas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. La carga de un electrón (-e) es -1.6019×10^{-19} C, o de manera equivalente, 1 C es la carga de 6.2415×10^{18} electrones (17).

2.2.2.2. Corriente eléctrica

Se puede definir como un flujo ordenado de electrones, es decir, los electrones en movimiento constituyen una corriente eléctrica, los cuales, al aplicarles un voltaje como por ejemplo de una batería, es posible forzar a los electrones fuera de su trayectoria circular y ocasionar que pasen de un átomo a otro. La corriente que pasa por un alambre tiene una dirección y una magnitud. El símbolo de la corriente eléctrica es la letra I y la unidad de corriente es el amper (A) (8).

A) Corriente alterna (CA)

Es aquella en la que al desplazarse cambian muchas veces de sentidos en intervalos regulares de tiempo y es abreviada como CA (8).

B) Corriente continua (CC)

Es aquella en la que los electrones que se desplazan siempre en el mismo sentido desde el polo negativo (punto de mayor potencial) hacia el polo positivo (punto de menor potencial), además este se mantiene constante a través del tiempo (8).

2.2.2.3. Energía eléctrica

Según Osinergmin, la energía eléctrica, es el movimiento de electrones que se trasladan por un conductor eléctrico durante un determinado periodo. La fuerza física o presión que induce este movimiento se denomina voltaje y su unidad de medida es el voltio (V), mientras que la tasa a la cual fluyen los electrones se llama intensidad de corriente, cuya unidad de medida es el amperio (A) (18).

2.2.2.4. Ley de Ohm

La ley de Ohm establece que, en un circuito eléctrico, el valor de la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. En otras

palabras, esta ley dice que, a más voltaje, más corriente; a menos voltaje, menos corriente y a más resistencia, menos corriente; a menos resistencia, más corriente. La ley de Ohm permite conocer el voltaje en un elemento del circuito conociendo su resistencia y la corriente que fluye a través de él y las relaciona de la siguiente manera (17):

$$V / I = R$$

Donde:

V = voltaje (V)

R = resistencia (Ω)

I = corriente (A)

A) Voltaje o tensión

El voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Si una carga positiva se somete a un campo eléctrico esta se moverá del punto de mayor potencial al de menor potencial, realizando un trabajo que implica un cambio de energía. Sin embargo, para que exista una diferencia de potencial entre dos puntos no es necesario que exista una carga moviéndose entre ellos. Tan solo se requiere que exista un campo eléctrico diferente entre los dos puntos. La diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico homogéneo está dada por:

$$V = E \cdot d$$

Donde:

d: es la distancia entre los puntos.

Para que exista una corriente eléctrica se requiere de algo que fuerce a que los electrones circulen ordenadamente; una fuerza de origen eléctrico, denominada fuerza electromotriz (f. e. m.), cuya unidad es el volt (V). Esta fuerza es la que proporcionan

los generadores de electricidad como las pilas, baterías, alternadores, etc. (17).

B) Resistencia

Todo material ofrece cierta oposición al flujo de corriente, oposición que puede ser grande o pequeña. La resistencia depende de la longitud, área de sección transversal, temperatura y material del que está hecho (17).

C) Intensidad de corriente

Es medido en amperes, y viene a ser la cantidad de electrones por segundo que pasan por una sección del conductor (17).

2.2.2.5. Circuito eléctrico

Es un procesador de energía o señal (información), formado por la interconexión de elementos o dispositivos simples. La energía en un circuito que puede ser suministrada, absorbida, almacenada o convertida (17).

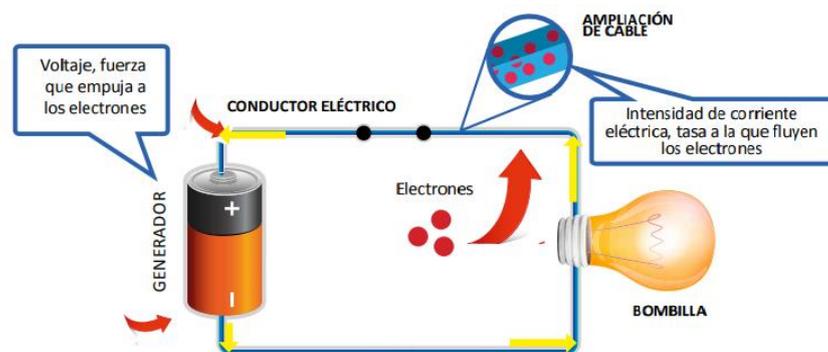


Figura 3. Circuito eléctrico simplificado (18) (p. 29)

A) Conexión en serie

Conexión de elementos donde la corriente es la misma en todos los elementos. Esto se tiene al conectar el fin de un nodo de una rama con el nodo de inicio de la siguiente rama de la secuencia, en este tipo de conexión se da la suma de voltaje. Se dice que un

circuito está conectado en serie cuando todos los dispositivos de carga circulan a la misma corriente, en estos circuitos la resistencia total es la suma de la resistencia de carga de los propios conductores. Asimismo, un circuito está conectado en serie cuando van colocados los dispositivos uno a continuación de otro, de forma que la corriente eléctrica solo tiene un camino que recoger (19).

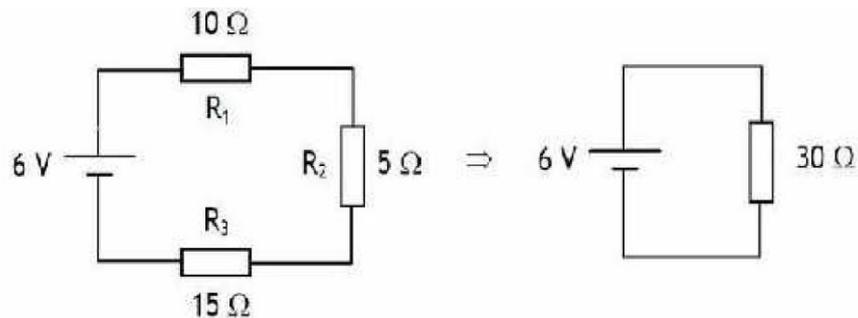


Figura 4. Conexiones de un circuito en serie (19) (p. 239)

B) Conexión en paralelo

Conexión de elementos entre dos nodos comunes (nodo superior con nodo superior y nodo inferior con nodo inferior) en la cual el voltaje es el mismo en todos los elementos (19).

2.2.3. Fuentes de energía eléctrica en el Perú

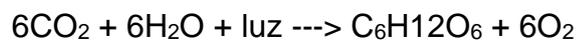
Desde 2004, las centrales de gas natural adquirieron mayor protagonismo como generadoras de energía, convirtiéndose, junto a las grandes hidroeléctricas, en las principales fuentes de producción eléctrica del país. La producción de energía en el Perú está concentrada básicamente en dos fuentes, hidráulica y gas natural, con las que en conjunto se generó el 92.4% del total de energía producida en 2018. En tanto, los RER superaron apenas el 7% de participación (4).

2.2.4. La fotosíntesis

Es el proceso metabólico que ocurre en las plantas terrestres, las algas de aguas dulces, marinas o las que habitan en los océanos, y que permite la transformación de la materia inorgánica en materia orgánica y al mismo tiempo convierten la energía solar en energía química. Este

proceso reviste gran importancia para la vida en la Tierra, ya que los organismos heterótrofos dependen de estas conversiones energéticas y de materia para su subsistencia. También a la eliminación de oxígeno fotosintético a la atmósfera obedecen la mayoría de los seres vivos (20). En síntesis, es un proceso fisicoquímico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos (21).

La ecuación general de la fotosíntesis (22) es la siguiente:



Es necesario conocer este concepto para entender las relaciones entre los seres vivos y la atmósfera, así como el balance de la vida sobre la Tierra.

2.2.4.1. El proceso de fotosíntesis

Consiste en la transformación de la energía captada del sol (luz solar) en energía química. Esta energía es utilizada por todas las plantas para la reducción del gas carbónico y la producción de hidratos de carbono mediante la intervención de sustancias inorgánicas y agua. Generalmente, se trata de un conjunto de reacciones bioquímicas que dan la función a las plantas iluminadas de poder producir materia orgánica, constituyendo de esta manera un proceso esencial para la vida. Gracias a la fotosíntesis se puede elaborar materia orgánica a partir de la inorgánica. La materia orgánica es procesada y transmitida de unos seres vivos a otros a través de las cadenas tróficas. En la fotosíntesis, el CO₂ que producen los animales y los procesos de putrefacción pueden ser reutilizados y sintetizados. Siendo diferente si el CO₂ o dióxido de carbono saturaría el planeta, lo que provocaría consecuencias fatales para la vida en el planeta (22).

2.2.4.2. Etapas de la fotosíntesis

Está dividido en la fase luminosa y la oscura.

A) Fase luminosa

Consiste en absorber luz por medio de la clorofila, y fragmentar las moléculas de agua en O_2 e H^+ . El O_2 se libera a la atmósfera y el H^+ es empleado para reducir el CO_2 y sintetizar carbohidratos (23). La luz solar llega hasta los cloroplastos, de forma que las clorofilas convierten esta energía en energía química. La energía química y poder reductor acumulados serán fundamentales para la siguiente fase. La energía que se genera proviene de la rotura de la molécula de agua (H_2O), de forma que libera oxígeno (O_2) a la atmósfera y aprovecha los protones de hidrógeno ($4 H^+$) generados que serán los que dentro de la maquinaria celular acaben dando lugar a otra molécula llamada adenosín trifosfato o trifosfato de adenosina (ATP), que almacena la energía, para hacerlo, cada molécula de clorofila absorbe un fotón de luz y al hacerlo pierde un electrón. Este electrón pasa a la cadena de transporte de electrones que produce el NADPH y el ATP. La molécula de clorofila recupera el electrón perdido cuando una molécula de agua que se absorbe del suelo, es dividida en un proceso llamado fotólisis que libera una molécula de oxígeno a la atmósfera como desecho del proceso (22).

B) Fase oscura

Es un proceso complejo donde NADPH y ATP se usan para producir moléculas de carbohidratos (o azúcares). La energía que la planta obtuvo durante la fase luminosa es usada para sintetizar la glucosa a partir del agua y el dióxido de carbono captado de la atmósfera terrestre. Se le llama fase oscura porque no necesita la luz solar. La enzima Rubisco captura el dióxido de carbono de la atmósfera y en otro proceso llamado ciclo de Calvin, usa el NADPH y el ATP creados en la fase luminosa y libera azúcares de tres carbonos que pueden convertirse luego en sacarosa o almidón. Se

utilizan seis moléculas de dióxido de carbono para generar una molécula de glucosa. La fase oscura se realiza en los cloroplastos. Estas son estructuras celulares que se encuentran en los organismos eucariotas, y tienen una forma oval o esférica. Su función principal es la transformación de energía del sol en energía química, algo que ocurre durante la fotosíntesis y, para ser más exactos, durante su fase oscura. Está compuesto por una envoltura compuesta por dos membranas, que contienen pigmentos como la clorofila, así como otras sustancias esenciales para que pueda cumplir con su función (22).

En resumen, en la fase oscura se dan las reacciones mediante las cuales se fija el CO_2 y se sintetizan los carbohidratos (23).

2.2.4.3. Tipos de fotosíntesis

Por la forma de captar el CO_2 de la atmósfera, las plantas fotosintéticas se han dividido en tres categorías:

A) Fotosíntesis C_3

Convierten el CO_2 en una molécula de tres carbonos (ácido 3-fosfoglicérico). Son poco eficientes en su fijación de carbono debido al proceso llamado fotorrespiración, mediante este proceso las plantas C_3 consumen oxígeno y liberan CO_2 (23).

B) Fotosíntesis C_4

Primero fijan el CO_2 como oxalacetato en las células del mesófilo, y después lo refijan en las células de la vaina del haz vascular, formando la molécula de tres carbonos, este tipo de arreglo de sus células se les denomina "Anatomía Kranz". A causa de la alta concentración de CO_2 que se presenta en las células de la vaina del haz vascular, las plantas C_4 hacen un uso más eficiente de este, debido a que la actividad fotorrespiratoria no ocurre o sucede muy poco, y pueden mantener sus estomas cerrados

durante más tiempo que las plantas C₃, para una misma tasa de fijación de CO₂ (23).

C) Fotosíntesis CAM

Las plantas con Metabolismo Ácido de las Crasuláceas son muy similares a las plantas C₄, sin embargo, sus reacciones luminosas y oscuras no están separadas en el espacio si no en el tiempo. Estas plantas fijan el CO₂ durante la noche por medio de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPc). Los ácidos de cuatro carbonos que se originan se almacenan en la vacuola. Durante el día, las estomas se cierran y los ácidos C₄ son trasladados al citoplasma en donde son descarboxilados. El CO₂ liberado es fijado por la enzima Rubisco en los cloroplastos, y después incorporado al ciclo de Calvin y Benson para la regeneración de carbohidratos (23).

2.2.5. Energía eléctrica a base de fotosíntesis

Los organismos fotosintéticos capturan la luz a través de una red de pigmentos que se ubican en los tilacoides del cloroplasto formando complejos recolectores de luz, los cuales fluyen por una pendiente energética hacia un par especial de moléculas de clorofilas a colectoras de energía que junto a proteínas asociadas constituyen el centro de reacción. Cuando la clorofila o el centro de reacción reciben la energía de las moléculas excita a uno de sus electrones y sale saltando al sistema de transporte de electrones que se encuentra próximo a ella y así se inicia un flujo de electrones. En el proceso de fotosíntesis, las plantas expulsan una serie de residuos en forma de moléculas de metabolitos, posteriormente una serie de bacterias o microorganismos rompen estas moléculas para liberar electrones, que serán captados a través de los electrodos para la generación eléctrica. El dióxido de carbono se fija y se libera como exudados de las raíces por las plantas y es utilizado por microorganismos que devuelven el dióxido de carbono a la atmósfera. Los microorganismos usan el ánodo como aceptor de electrones para obtener energía metabólica. Estos electrones fluyen debido a la diferencia de potencial,

desde el ánodo a través de un circuito eléctrico con una carga o una resistencia al cátodo, por lo tanto, se genera electricidad que se puede usar (10).

Para captar los electrones libres en un determinado espacio es necesario implementar un sistema que permita su concentración, por ello se necesita de un ánodo (electrodo negativo) y un cátodo (electrodo positivo).

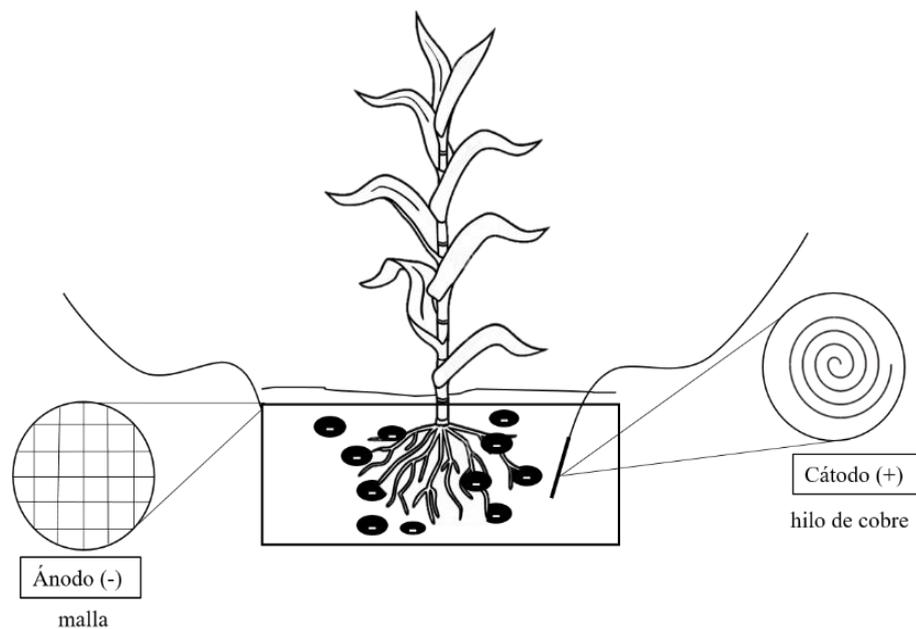


Figura 5. Modelo del sistema de generación de energía eléctrica en el maíz (*Zea mays L.*)

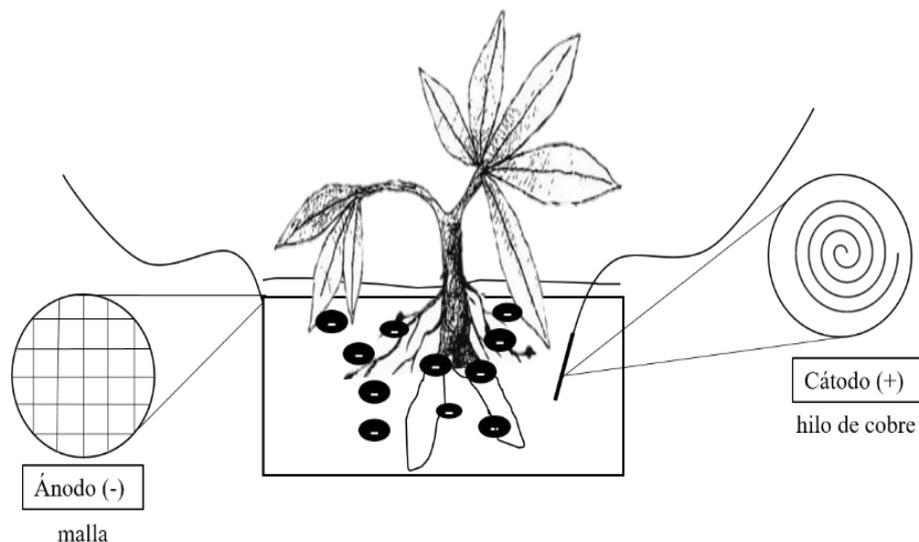


Figura 6. Modelo del sistema de generación de energía eléctrica en la yuca (*Manihot esculenta C.*)

Mediante una conexión en serie, es decir, el ánodo de una planta se conecta al cátodo de otra planta y así sucesivamente hasta cerrar el circuito, en este caso, al llevarse a cabo este tipo de conexión, se logra la suma de voltaje (12).

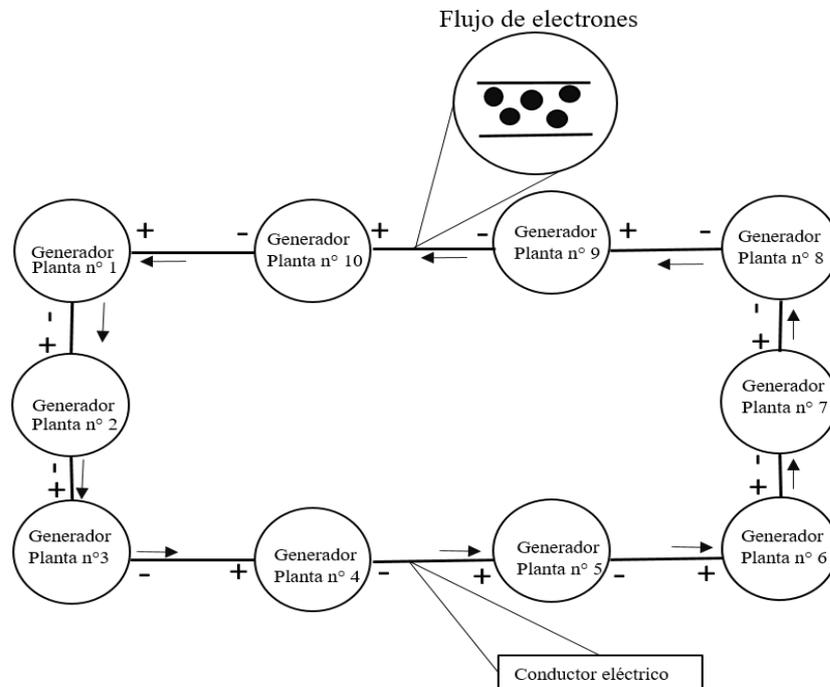


Figura 7. Circuito eléctrico con conexión en serie

2.2.6. Especies vegetales

2.2.6.1. El maíz (*Zea mays L.*)

Es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Maydae, con dos géneros: *Zea* ($2n = 20$) y *Tripsacum* ($2n = 36$). Es una gramínea anual, robusta, de 1 - 4 m de altura, determinada, normalmente con un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles, hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabrasas en parte inferior, monoica con flores 4 masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; potándrica con la floración masculina, ocurriendo normalmente 1 - 2 días antes que la femenina, polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen: 25 - 30 mil granos por óvulo, granos en hileras incrustados

en la mazorca, en su totalidad cubierta por hojas; grano cariopsis; metabolismo fotosintético C₄ (24).

El maíz presenta características fisiológicas extremadamente favorables en lo que se refiere a la eficiencia de conversión de CO₂ de la atmósfera, en compuestos orgánicos como los carbohidratos. Este proceso, que se realiza a través de la fotosíntesis, se refiere a la bioconversión de la energía solar en biomasa. En maíz, la gran eficiencia de transformación de la energía luminosa en energía química se debe al proceso fotosintético llamado "C₄", en el cual, el CO₂ es fijado en compuestos de cuatro carbonos. Estos carbohidratos son continuamente almacenados en las células de la vaina vascular de las hojas y posteriormente redistribuidos (25).

A) Clasificación taxonómica

Según la nomenclatura ofrecida por Linneo en 1737 en su libro "*Genera Plantarum*", el maíz, se designa como *Zea mays* L., pertenece a la familia *Poaceae*.

Tabla 3. Clasificación taxonómica del maíz

<i>Reino</i>	<i>Vegetal</i>
<i>Subreino</i>	<i>Embriobionta</i>
<i>División</i>	<i>Magnoliophyta (Angiospermae)</i>
<i>Clase</i>	<i>Liliopsida (Monocothyledoneae)</i>
<i>Orden</i>	<i>Cyperales</i>
<i>Familia</i>	<i>Poaceae</i>
<i>Género</i>	<i>Zea</i>
<i>Especie</i>	<i>Zea mays</i>

B) Morfología

Raíz

El sistema radicular se origina en la radicela del embrión, a partir del punto de crecimiento del hipocotilo. A los pocos días

queda formado el sistema radicular, formado por tres pequeñas raíces seminales, juntamente con la radícula. Luego de la salida del coleóptilo por alargamiento del mesocotilo a los ocho días se inicia el desarrollo de las primordias radiculares adventicias, en forma de coronas radiculares que constituirán el sistema radicular fibroso definitivo, eliminando el sistema radicular seminal inicial. En una raíz principal, joven, se encuentran formados la epidermis, los pelos absorbentes, la corteza y los haces vasculares. Las raíces secundarias nacen alejadas de la punta de la raíz, en la zona de diferenciación, donde los tejidos están bien definidos. La misión es aportar un perfecto anclaje a la planta (26).

Tallo

El tallo es simple, erecto en forma de caña y macizo en su interior, presenta la forma de un pequeño cilindro piramidal terminado en punta, este pequeño tallo está formado por nudos y entrenudos muy comprimidos, terminado en la panoja embrional. Luego de la emergencia, el tallo comienza a alargarse rápidamente, iniciándose el periodo de crecimiento, formando una estructura longitudinal y cilíndrica muy frágil con 20 a 25 nudos, entrenudos y sus correspondientes hojas, yemas axilares y la panoja perfectamente formada. El máximo desarrollo vegetativo de la planta se alcanza cuando la panoja ha emergido completamente y se ha iniciado la antétesis. En esta etapa el tallo del maíz está formado por tres partes: epidermis, el tejido parenquimático y los haces vasculares (26).

Hojas

Las hojas, generalmente, son largas y angostas, envainadoras, formadas por la vaina y el limbo, con nervaduras lineales y paralelas a la nervadura central. El crecimiento de la hoja se realiza en la punta, quedando siempre la parte más vieja en la base. En la vaina, el crecimiento se efectúa en la parte superior. En el interior de las hojas solo hay parénquima esponjosa y los haces

vasculares. En las hojas, las estomas se encuentran colocados en hileras paralelas a las nervaduras y están formados por dos células estomatales (26).

C) Factores climáticos

Temperatura

Aunque el maíz es originario de los trópicos, el crecimiento óptimo del cultivo ocurre a temperaturas de 24 a 30 °C. Temperaturas nocturnas altas no favorecen el crecimiento del cultivo, sino que incrementan las tasas de respiración y de esta forma se reduce el peso seco acumulado durante el día por la fotosíntesis (25).

La fotosíntesis disminuye a temperaturas de la hoja mayores de 40 °C, aparentemente a causa del daño a las membranas - fotoinhibición- y el daño es más severo en condiciones de alta radiación. En un principio esta fotoinhibición es reversible, pero los daños pueden ser irreversibles si la duración de las altas temperaturas es prolongada o si la temperatura de las hojas excede de 45 °C, llegando así en los casos extremos a la muerte de los tejidos (24).

Viento y evapotranspiración

Aunque no es posible controlar la humedad del suelo, excepto en condiciones de riego, sí se puede conocer bajo qué condiciones se obtiene el máximo rendimiento. En condiciones variables de humedad del suelo, la espiga más larga fue producida con 60% de saturación, mientras que la máxima acumulación de peso de la planta fue alcanzada a 80%. A contenidos de humedad mayores el crecimiento de las plantas fue mayor, pero no fue correspondido por un aumento en el tamaño de las espigas. El viento es un factor muy importante cuando se consideran las pérdidas de agua a través de la evapotranspiración, las que por su parte, acrecientan con el aumento de la temperatura. Durante

períodos de viento, alta radiación solar y alta temperatura más agua es extraída por evaporación de la superficie del suelo y por transpiración de las hojas que en ausencia de estas condiciones (25).

Radiación

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 14 de la hoja y por su duración (24). La energía solar utilizada por el maíz es la proveniente de longitud de onda entre 0.4 y 0.7 micrones, la llamada radiación visible del espectro. Radiación alta y temperaturas excesivamente altas, pueden causar que la fotosíntesis del estrato superior de hojas cese por el fenómeno de fotoinhibición. La cantidad de radiación potencialmente interceptable en un período fenológico específico está determinada por la radiación incidente diaria, la que a su vez determina la tasa de crecimiento del cultivo, y por la temperatura, que define la duración del período. La cantidad de radiación interceptada en el período crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el período de llenado de granos, define el peso de mil granos (25).

Balance hídrico

La disponibilidad de agua de un suelo depende de su profundidad y textura (el agua en suelos de tipo arenoso está retenida con menos fuerza que en suelos de tipo arcilloso). Es así que para evaluar las relaciones hídricas de las plantas es necesario evaluar cuantitativamente la humedad disponible en el suelo, las características de retención de agua y la demanda atmosférica (25).



Figura 8. Plantas de maíz (*Zea mays* L.) en la etapa de estadio vegetativo. Tomada en el área de terreno de estudio, 2021.

2.2.6.2. La yuca (*Manihot esculenta* crantz)

La yuca es un arbusto perenne que alcanza una altura entre los 90 y 250 centímetros, tiene grandes hojas palmeadas y sus raíces son comestibles (las hojas se pueden usar como forraje). Las flores nacen en el extremo del tallo y su color varía de púrpura al amarillo. La planta es "monoica", lo que significa que, en ella misma, crecen separadas flores masculinas y 7 femeninas; las femeninas maduran más pronto y el cruce con otras plantas ocurre mediante la polinización con insectos (27). Este cultivo tiene la capacidad de realizar fotosíntesis como una planta C₃ o C₄ (28).

A) Clasificación taxonómica

Se encuentra clasificado en el reino vegetal bajo la siguiente descripción taxonómica (29):

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la yuca (Manihot esculenta C.)

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malpighiales</i>
Familia	<i>Euphorbiaceae</i>
Subfamilia	<i>Crotonoideae</i>
Tribu	<i>Manihoteae</i>
Género	<i>Manihot</i>
Especie	<i>Manihot esculenta</i>

B) Morfología

Raíz

Son fibrosas, tiempo después una parte de ellas se agranda, debido a la acumulación de almidón, y se denominan tuberosas. Este tipo de raíz es morfológica y anatómicamente igual a las raíces fibrosas; la diferencia radica en el cambio de la dirección del crecimiento, de longitud radial, cuando se inicia la acumulación de almidones. Si la planta proviene de semilla sexual se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden, si proviene de estacas, las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca y las yemas de la estaca que están bajo la tierra. El número de estas se determina, en la mayoría de los casos, en la primera etapa de crecimiento de la planta (30).

C) Factores climáticos

Temperatura

La yuca es un cultivo que tolera un amplio rango de temperatura; sin embargo, esta puede afectar la brotación, el tamaño y la producción de hojas, el llenado de las raíces de

almacenamiento y el rendimiento. El rango óptimo de temperatura es de 25 - 29 °C. Sin embargo, el rango de tolerancia de este cultivo va de los 16 °C a los 38 °C; las temperaturas inferiores a los 16 °C afectan el crecimiento, debido a una menor producción de hojas, la poca formación de raíces tuberosas y un menor engrosamiento de estas (28). Actualmente, la yuca es cultivada en zonas tropicales y subtropicales del mundo. La difusión y la popularidad probablemente se deban a la facilidad de su cultivo en zonas de alta temperatura y abundante precipitación, es un cultivo que se adapta a temperaturas que oscilan de 20 °C a 30 °C y a diversos tipos de suelo (29). Asimismo, se siembra desde el nivel del mar hasta los 1800 m s. n. m., a temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C con una óptima de 24 °C (31).

Humedad

La yuca (*Manihot esculenta* crantz) se adapta en un ambiente con una humedad relativa entre 50 y 90% con una óptima de 72% (31).

Precipitación

La yuca es una planta con amplia adaptación tanto a zonas secas como húmedas, aunque prefiere lluvia abundante y bien distribuida. La precipitación óptima es de 750 mm a 2000 mm. A pesar de que la planta puede resistir periodos secos, su desarrollo y rendimiento se ve afectado. En periodos prolongados de sequía se produce una disminución del follaje, se forman anillos leñosos en las raíces tuberosas y el rendimiento disminuye considerablemente, mientras que en las zonas con exceso de precipitación se presentan pudriciones de las raíces (28). La zona idónea para dicho cultivo debe contar con una precipitación anual entre 600 y 3000 mm con una óptima de 1500 mm (31).



Figura 9. Plantas de yuca (*Manihot esculenta* C.) en la etapa fenológica de crecimiento lento. Tomada en el área de terreno de estudio, 2021

2.2.7. Fenología

La fenología estudia la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico; fases como: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de los frutos, entre otros (26).

2.2.7.1. *Zea mays* L.

Se pueden distinguir dos grandes etapas, la vegetativa y la reproductiva. Las subdivisiones numéricas de la etapa vegetativa, identificada con la letra V, corresponden al número de hojas totalmente expandidas. La etapa reproductiva comienza con la emergencia de los estigmas (R1) y finaliza con la madurez fisiológica de los granos (R6) (24).

Tabla 5. Etapa fenológica del maíz

Estados vegetativos	Estados reproductivos
V _E Emergencia	R1 Emergencia de estigmas
V ₁ Primera hoja	R2 Cuaje (ampolla)
V ₂ Segunda hoja	R3 Grano lechoso
...	R4 Grano pastoso
...	R5 Grano dentado
...	R6 Madurez fisiológica
V _n Enésima hoja	
V _T Panojamiento	

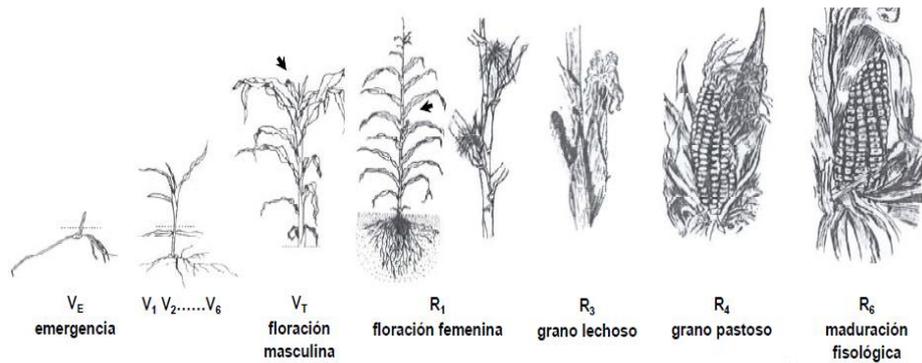


Figura 10. Cambios externos de las etapas fenológicas del maíz (*Zea mays L.*) (24) (p. 7)

A) Estadio vegetativo

Las subdivisiones del estadio vegetativo (V) son designadas como V1, hasta V(n), siendo (n) la última hoja antes del panojamiento (VT) para el cultivar considerado. En V₃ el ápice del tallo (punto de crecimiento) aún se encuentra por debajo de la superficie del suelo. En este momento se establecen todas las hojas y espigas que la planta podría eventualmente producir. En el estadio V₅ aproximadamente a los 20 días, el ápice del tallo está justo por debajo de la superficie del suelo y la planta tiene una altura total aproximada de 20 cm. En el estado V₆, el punto de crecimiento sobresale de la superficie del suelo y el tallo comienza un período de rápida elongación. En este momento las raíces adventicias son el principal sistema funcional. El estadio vegetativo nueve (V₉) cada nudo aéreo desarrolla una espiga potencial (con excepción de los 6 a 8 nudos por debajo de la panoja). Al principio cada una de las espigas se desarrolla más rápidamente que la que se origina por encima de ella en el tallo. Cerca del estadio V₁₀ la planta comienza un rápido incremento en la acumulación de materia seca que continuará hasta la etapa reproductiva avanzada. Se requieren altas cantidades de nutrientes y agua del suelo para cumplir con la demanda. El estadio V₁₂ ocurre promediamente a los 48 días postemergencia, el número de hileras en cada espiga y el tamaño de la espiga se establece en V₁₂. En el estadio V₁₅, la planta de maíz presenta en promedio, 14 hojas, 56 días después de la

emergencia y 15 hojas a los 2 meses y está a 10 a 12 días de la etapa R₁. Empiezan a crecer las barbas de las espigas superiores. En V₁₇ las espigas superiores han crecido lo suficiente como para que sus extremos sean visibles y también puede ser visible el extremo superior de la panoja. En este estadio se completa la determinación del número de granos por hilera. Estadio V₁₈. Las espigas de los óvulos basales se desarrollan antes que las de los superiores. El desarrollo de los órganos reproductivos toma de 8 a 9 días, esto se produce una semana antes de la floración, el desarrollo de la espiga continúa rápidamente. Cualquier deficiencia durante esta etapa retrasa el desarrollo de la espiga femenina y de los óvulos más que el de la panoja. Estadio V_T (Panojamiento), se inicia aproximadamente 2 - 3 días antes de la emergencia de barbas, tiempo durante el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza la liberación del polen (26).

B) Estadios reproductivos y desarrollo del grano

Los seis estadios reproductivos se refieren principalmente al desarrollo del grano y sus partes. Los estadios R₂, R₃ y R₄ generalmente se aplican a todos los granos de la mazorca, se considera a los que se poseionan en el medio de esta. La descripción de los granos en R₅ o R₆ corresponde a todos los granos de la mazorca. En condiciones de campo, en cada planta la panoja libera el polen antes de que las barbas hayan emergido de la espiga, pero continúa liberándolo varios días después de que las barbas estén listas para ser polinizadas, en total una semana o más. La etapa R₁ comienza cuando algunas barbas son visibles fuera de las vainas. La polinización ocurre cuando los granos de polen se depositan sobre las barbas. Este período de 4 semanas alrededor del período de floración es el más importante para la aplicación de riego. Estadio R₂ (ampolla). El embrión se desarrolla lentamente, además la radícula, el coleóptilo y la primera hoja embrionaria ya se han formado. La mazorca está casi por alcanzar, o ya alcanzó, su tamaño completo. Las espigas, habiendo

completado su función de floración, se oscurecen y comienzan a secarse (32). Estadio R₃, también llamado lechoso (18 - 22 días después de emergencia de barbas) tiene el grano con un color amarillo externamente y el fluido interno es blanco lechoso debido a la acumulación de almidón. El embrión en esta etapa crece rápidamente. Los granos presentan una rápida acumulación de materia seca y contiene aproximadamente 80% de humedad. En R₃ las divisiones celulares del endospermo están esencialmente terminadas, por lo que el crecimiento es debido principalmente a la expansión celular y la acumulación de almidón en las células. Estadio R₄ o pastoso (24 - 28 días después de emergencia de barbas) en esta etapa normalmente ya se han formado cuatro hojas embrionarias y el embrión ha crecido considerablemente en tamaño con respecto a la etapa R₃. Estadio R₅ también conocido como dentado (35 - 40 días después de emergencia de barbas) los granos se secan comenzando por la parte superior donde aparece una capa dura de almidón de color blanco. Condiciones adversas en esta etapa reducirán el rendimiento a través de una disminución del peso de los granos y no del número de granos. Estadio R₆ donde ocurre la madurez fisiológica (55 - 65 días después de emergencia de barbas) se define cuando todos los granos en la espiga han alcanzado su máximo peso seco o máxima acumulación de materia seca y se forma una abscisión marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca (punto o capa negros). Esta abscisión es un buen indicador de la máxima acumulación de materia seca (madurez fisiológica) y señala el final de crecimiento del grano. El promedio de humedad de grano en R₆ (formación del punto negro) es 30 - 35%, sin embargo, esto puede variar entre cultivares y condiciones ambientales (26).

2.2.7.2. *Manihot esculenta* Crantz

El ciclo de crecimiento de la yuca se puede dividir en tres etapas:

A) Etapa de crecimiento lento

Esta etapa comprende desde la siembra hasta los 60 días después de la siembra (dds). Se caracteriza por la brotación de las estacas, las cuales forman primero raíces (5 - dds) y posteriormente se desarrollan los tallos y las hojas. El crecimiento de estas estructuras es lento; durante los primeros meses los productos de la fotosíntesis son utilizados por estos órganos para su crecimiento (28).

B) Etapa de máximo crecimiento

Este periodo abarca desde los 60 dds hasta los 150 dds. En esta fase los tallos se ramifican y las hojas crecen, alcanzando su máximo crecimiento a los 150 dds. Durante esta fase se lleva a cabo la mayor producción de biomasa (tallos y hojas) y se alcanza el mayor índice de área foliar. Además, a los 75 dds se inicia el proceso de formación de las raíces de almacenamiento y posteriormente se da la fase inicial del llenado o engrosamiento de esas raíces (28).

C) Etapa de senescencia

Esta fase va desde los 150 dds a la cosecha, que en el caso de la variedad Valencia se da 240 - 300 dds (8 - 10 meses después de la siembra). Esta fase se caracteriza por una disminución en la biomasa aérea, debido a un menor crecimiento de la producción de tallos y hojas. Disminuye el tamaño de las hojas, pero no su cantidad. Sin embargo, después de los 210 dds se reduce la producción de hojas, lo que acelera el proceso de senescencia de la planta e incrementa la translocación de fotoasimilados a las estructuras de reserva o raíces de almacenamiento (28).

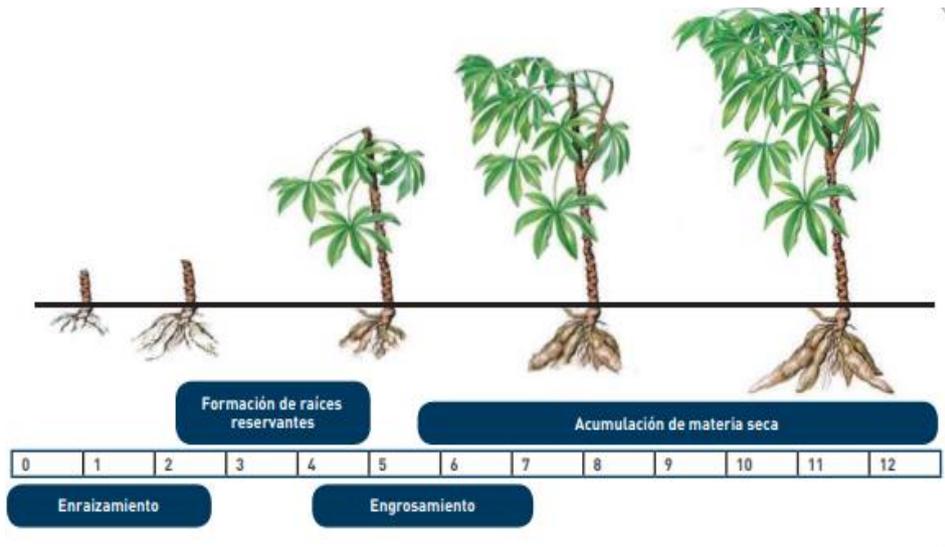


Figura 11. Ciclos de crecimiento de la yuca. Tomada de “Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta C.*)”, por Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2016 (p. 11)

2.2.8. Suelo

Es el material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (33). Es el sistema complejo que se forma en la superficie del terreno, inicialmente por la alteración física y química de las rocas y luego también por la influencia de los seres vivos, desarrollando una estructura en niveles superpuestos, el perfil, y una composición química y biológica definidas. Desde el punto de vista biológico, las características del suelo más importantes son su permeabilidad, relacionada con la porosidad, su estructura y su composición química. Los suelos retienen las sustancias minerales que las plantas necesitan para su nutrición y que se liberan por la degradación de los restos orgánicos. Un buen suelo es condición para la productividad agrícola (34). Es uno de los elementos imprescindibles para el desarrollo de la vida, es la base fundamental para llevar a cabo el crecimiento de las plantas.

2.2.8.1. Propiedades físicas

A) Humedad del suelo

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno (34).

Cuanto mayor es la demanda atmosférica, mayor es el nivel de humedad en el suelo necesario para satisfacerla y evitar el estrés. El efecto de la deficiencia de agua sobre el crecimiento de las plantas ha sido ampliamente estudiado y correlacionado con reducciones en la disponibilidad de CO₂ para la fotosíntesis y limitador de los procesos de elongación celular. La reducción del crecimiento foliar provoca la disminución de los sitios de utilización de los productos fotoasimilados, los cuales, a su vez, pueden influir en la tasa de fotosíntesis. La fotosíntesis de maíz disminuye significativamente cuando el potencial hídrico de la hoja es menor a 3.5, en tanto que, en condiciones de deficiencia hídrica pequeña, en torno a 1 .0 atm, se verificaron reducciones de hasta el 50% en la tasa de fotosíntesis aparente (25).

B) Temperatura del suelo

Los átomos y moléculas en una sustancia no siempre se mueven a la misma velocidad. Esto significa que hay un rango de energía (energía de movimiento) en las moléculas. La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que se mide en su movimiento medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y, por lo tanto, no depende de su tamaño (34).

2.2.8.2. Propiedades químicas

A) pH del suelo

Es una de las propiedades más importantes del suelo que indica el grado de acidez o alcalinidad del suelo. Su efecto sobre el desarrollo de las plantas no es directo sino más bien a través de efectos secundarios causados por solubilización de elementos tóxicos como el manganeso y el aluminio. El pH de una solución es una medida de la actividad del ion hidrógeno, o la concentración de iones hidrógeno en dicha solución. Las soluciones de tierras de cultivo como cualquier solución presentan una reacción o pH, dependiendo de la proporción en que se encuentren las

concentraciones de iones hidrógeno u oxidrilos. La reacción de una solución se valora en términos de pH. Un suelo es ácido si su pH es menor que 7, neutro si es 7, y alcalino o básico si su pH es mayor que 7. Al aumentar los iones (H^+) de una solución, el pH disminuye. Si aumenta la concentración de iones (OH^-), el pH de la solución aumenta. Un efecto interesante de señalar es la relación entre el pH y el clima, se ha observado que en condiciones de clima cálido y pH bajo. Las tierras de cultivo con pH entre 4.0 y 5.0 presentan una gran cantidad de manganeso y aluminio muy activos, además de bajos contenidos de calcio, magnesio y fósforo. La actividad de las bacterias del suelo se ve disminuida en relación con la actividad de los hongos, que encuentran un medio propicio para su desarrollo, hay grupos de bacterias que son muy importantes en la nutrición nitrogenada de las plantas. La actividad biológica del suelo se ve disminuida a medida que el pH es menor (mayor acidez). En el otro extremo estaría un suelo de reacción alcalina. En este caso el suelo tiene mucho calcio y magnesio, sin problemas de toxicidad de aluminio o manganeso. Con pH mayor de 8.0 se afecta la disponibilidad de hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo. Una tercera situación se presenta en un suelo de reacción débilmente ácida (pH 6.5 y 7.0). Esta parece ser la más satisfactoria para el crecimiento de la gran mayoría de las plantas, ya que los agentes químicos y biológicos están en equilibrio. La asimilación de nutrientes y la actividad de los microorganismos, parecen más satisfactorios bajo estas condiciones (35).

En el caso del maíz se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten pH de 5.5 a 8.0, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7). Un pH fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Con un pH inferior a 5.5, a menudo hay problemas de toxicidad por Al y Mn, con carencias de P y Mg. Con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencias de Fe, Mn y Zn.

El maíz es medianamente tolerante a los contenidos de sales en el suelo o en las aguas de riego. Las sales retrasan la nacencia de las semillas, sin afectar sus porcentajes de emergencia (un contenido de sales totales solubles de 0.5% en el suelo, o bien, 15,3 g/l en la solución del suelo). Las plantas mueren cuando la concentración alcanza valores de 1.15% o 43 g/l (24). Asimismo, en el cultivo de la yuca, los suelos han de tener un pH ligeramente ácido, entre 6 y 7, con una cierta cantidad de materia orgánica y han de ser sueltos, porosos y friables, evitando suelos con exceso de agua y desérticos (29).

2.3. Definición de términos básicos

- **Ánodo:** electrodo positivo de un generador de electricidad (36).
- **Biomasa vegetal:** la biomasa, una fuente de energía renovable, es todo tipo de materia orgánica que tiene origen en un proceso biológico. En las plantas, durante la fotosíntesis (proceso de óxido reducción) se absorbe la energía solar en la clorofila y se transforma el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos que almacenan energía química, mediante el proceso de conversión fotoelectroquímica de la fotosíntesis (38).
- **Cátodo:** electrodo negativo (36).
- **Conductor eléctrico:** conduce la electricidad porque tiene muy poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica. Los mejores conductores suelen ser metales (36).
- **Electrón:** partícula subatómica con carga eléctrica negativa, igual en magnitud a la carga positiva del protón, pero con una masa mucho menor; se encuentra en los orbitales que rodean al núcleo positivamente cargado del átomo (20).
- **Fotorrespiración:** oxidación de carbohidratos en presencia de luz y oxígeno; ocurre cuando la concentración de dióxido de carbono en la hoja es baja en relación con la concentración de oxígeno (20).
- **GEI:** un gas de efecto invernadero es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Este proceso es la causa del efecto invernadero. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono (3).

- **ODS:** los objetivos de desarrollo sostenible son una iniciativa impulsada por las Naciones Unidas y se componen de una declaración, se describe una iniciativa colectiva de contribución, mediante un procedimiento iterativo (37).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

En la presente investigación, para el método general se utilizó el hipotético - deductivo.

A) Método general

El método que se empleó es el hipotético-deductivo, este método es una estrategia de razonamiento que se emplea para deducir conclusiones lógicas a partir de una serie de premisas, es decir, es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que se plantean, consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si están de acuerdo con aquéllas (38). En este caso, se realiza la evaluación del maíz (*Zea mays L.*) y yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en la generación de energía eléctrica en el distrito de San Ramón, 2021, para ello, se plantea una serie de posibles respuestas.

B) Método específico

En este caso, se utilizó el método observacional y descriptivo.

3.1.2. Alcance de la investigación

A) Tipo de investigación

Siguiendo la línea de los diversos criterios de investigación, se considera de tipo aplicada, este tipo de investigación requiere que se tenga un conocimiento teórico previo. Consiste ir en busca de nuevas tecnologías que puedan dar solución a un problema específico, para que así satisfagan las necesidades de las personas (38).

Contando con información previa, se realizó la implementación del circuito en serie de las plantas de cada especie para comprobar la eficiencia en la generación de energía eléctrica y pueda aportar a contrarrestar la problemática planteada, en este caso, es el uso de combustibles fósiles, teniendo en cuenta el impacto ambiental negativo que genera al ambiente y por ser un recurso no renovable (finito).

B) Nivel de investigación

El nivel de investigación desarrollado es explicativo, este tipo de estudio se basa en responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia (39). En la investigación se buscó cuantificar la energía eléctrica que generan las plantas de maíz y yuca, y explicar el por qué, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicos del suelo y la etapa fenológica, siendo esta última en el caso del maíz en la etapa vegetativa y de la yuca en la etapa de crecimiento lento.

3.2. Diseño de la investigación

En la investigación se aplica el diseño cuasiexperimental, estos diseños también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, solo que difieren de

los experimentos «puros» en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasiexperimentales, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento: son grupos intactos (la razón por la que surgen y la manera como se integraron es independiente o aparte del experimento) (39). En este caso, las variables tanto como las plantas de maíz y yuca no fueron elegidas al azar, porque estos cultivos se encontraban dentro del área de estudio. Además, las mediciones tanto de pH, humedad y temperatura del suelo, así como el voltaje y la corriente, fueron realizadas sin alterar las condiciones de las plantaciones de yuca y maíz, solo se evaluó la cantidad de energía eléctrica según las condiciones del terreno y la planta.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Se tuvo como población a las plantaciones de yuca y maíz de la parcela agrícola del Sr. Osvaldo Campos Rojas, de un área aproximada de 2500 m², ubicada en el predio rural (Playa Hermosa), distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo.

3.3.2. Muestra

La investigación tuvo como muestra 10 plantas de la especie *Zea mays L.* y 10 plantas de la especie *Manihot esculenta Crantz* de la parcela del Sr. Osvaldo Campos Rojas, ubicada en el predio o sector de Playa Hermosa, del distrito de San Ramón. El tipo de muestra es no probabilístico por conveniencia (39), porque para el desarrollo de la investigación se eligieron aquellas especies de plantas que se tiene al alcance por ser cultivos de la zona de estudio. Las coordenadas de cada especie se detallan a continuación:

Tabla 6. Datum, zona y coordenadas UTM de la especie Zea mays L.

Datum: WGS84 Zona: 18 L	
Coordenadas UTM	
E	N
461990.73	8768477.171
461992.01	8768478.554
461992.192	8768479.209
461993.985	8768479.939
461995.01	8768480.122
461995.268	8768478.995
461994.646	8768478.812
461994.646	8768478.121
461994.061	8768478.229
461994.58	8768478.500

Tabla 7. Datum, zona y coordenadas UTM de la especie Manihot esculenta C.

Datum: WGS84 Zona: 18 L	
Coordenadas UTM	
E	N
461 980. 061	8768490.326
461980.21	8768488.616
461979.623	8768489.197
461979.45	8768489.27
461979.844	8768488.507
461979.500	8768488.198
461981.128	8768486.362
461981.28	8768486.15
461979.624	8768488.65
461979.815	8768488.45

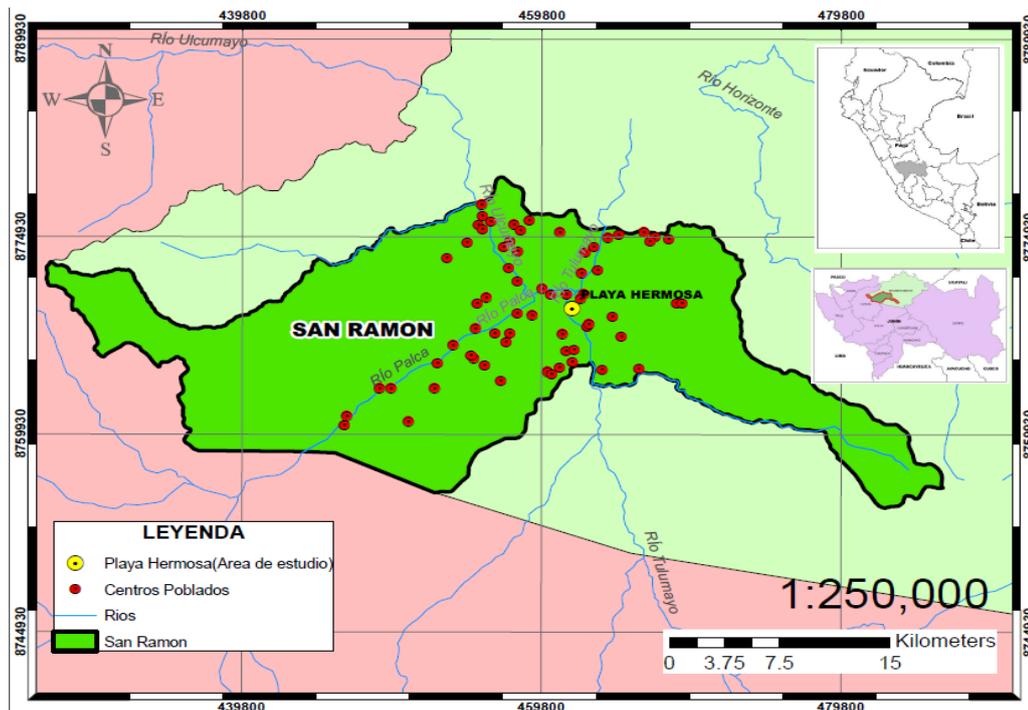


Figura 12. Mapa de ubicación de la zona de muestreo

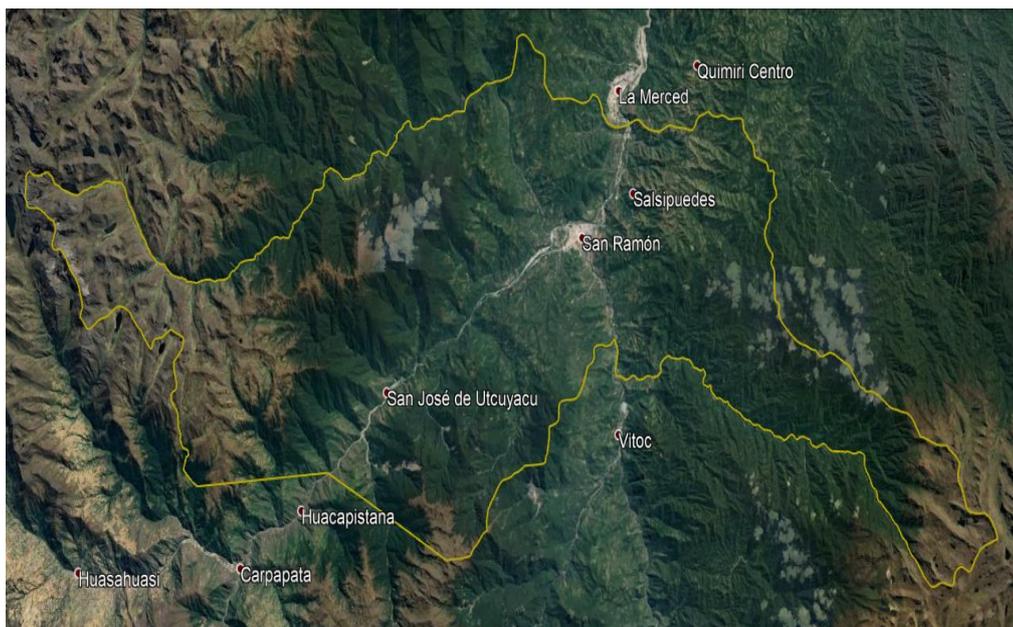


Figura 13. Zona de muestreo del maíz (*Zea mays L.*) y yuca (*Manihot esculenta C.*). Tomada de Google Earth Pro, 2021

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

La técnica de recolección de datos utilizada en la investigación es la observación directa que consiste en la inspección y estudio del desarrollo del objeto de estudio dentro de su entorno mediante el empleo de los sentidos, conforme a las exigencias de la investigación científica

(40), esta técnica permitió ver el comportamiento *in situ* de las especies en relación a la generación de energía eléctrica.

El proceso de obtención de la información comprendió una serie de actividades, del mismo modo se utilizaron equipos y materiales, todo lo mencionado se detalla a continuación:

3.4.1.1. Equipos

- Multímetro
- Sensor de humedad
- Sensor de temperatura
- Sensor de pH
- Balanza analítica

3.4.1.2. Materiales

- Malla galvanizada
- Cable mellizo N.º 12
- Hilo de cobre
- Cautín
- Hilo de estaño
- Cinta aislante
- Navaja

3.4.1.3. Actividades

Etapas fenológicas de las plantas y elección del área de estudio (Datum y Zona)

La principal característica del área de terreno que se tomó en cuenta es que sea un área extensa de cultivo y que cuente con las especies de plantas a trabajar. Luego, se procedió a buscar plantas de tipo C₃ y C₄ que se produzcan en la zona (San Ramón), y por conveniencia debido al fácil acceso se eligieron las plantaciones de maíz y yuca, eligiendo 10 muestras de cada una de ellas que se encontraban plantadas consecutivamente.

El maíz se encontraba en la etapa vegetativa y la yuca en la etapa de crecimiento lento, siendo ambas etapas iniciales de cada planta.

Elaboración del sistema eléctrico

Se elaboró el sistema eléctrico con las mallas galvanizadas, el hilo de cobre y los cables mellizos N.º 12. Se procedió a cortar mallas para cada planta de ambas especies, se cortó el cable mellizo y se doblaron los hilos de cobre en forma de espiral.

Tabla 8. Elaboración del sistema eléctrico

Material	Medidas	Cantidad
Malla galvanizada	30 x 15 cm	20 unidades
Cable mellizo N.º 12	30 cm	40 unidades
Hilo de cobre	30 cm	20 unidades

Luego, con el caudín y el estaño se procedió a soldar los cables mellizos con la malla galvanizada, y los cables mellizos con los hilos de cobre, en ambos casos el cable se ubicó en un extremo.

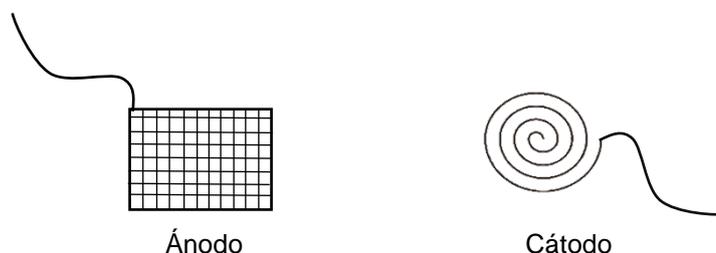


Figura 14. Ánodo y cátodo

Implementación del sistema eléctrico

Por el hecho que las plantas se ubicaban en el área de cultivo, se procedió a escarbar el contorno de la planta y se colocó el ánodo alrededor de las raíces, priorizando poner el cable en la parte superior, mientras que el cátodo se colocó en las raíces de la planta priorizando dejar expuesto el cable, ambos procedimientos se realizaron en las diez muestras de cada especie.

Seguidamente, con la cinta aislante se procedió a unir los cables que se encontraban expuestos a fin de evitar pérdidas de energía.

Recolección, análisis y aplicación de datos

Los datos se recolectaron durante 7 días, a las 4 p. m., tanto la medición de pH, humedad y temperatura del suelo, así como el voltaje y corriente del sistema de cada especie de planta.

Para la medición de pH, humedad y temperatura del suelo se utilizaron los sensores correspondientes a cada parámetro, dichos equipos se introducían al suelo a una profundidad de 5 a 15 cm. Mientras que para la obtención de los datos de voltaje y corriente se tenía que tomar con el multímetro a cada extremo de los cables, dicho proceso se realizaba para las 20 muestras.

Para obtener datos de biomasa, se procedió a tomar cinco muestras de cada especie, y se procedió a pesar en la balanza analítica, en consecuencia, se obtuvo un promedio.

Finalmente, con la energía almacenada en una batería se procedió a alimentar una linterna de luces led blanco.



Figura 15. Diagrama de los procedimientos de la metodología de investigación

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó a través de fichas técnicas, en el transcurso de la semana se procedió a anotar de forma ordenada y sistemática todos los datos de voltaje y corriente, así como las condiciones del suelo (pH, humedad y temperatura).

3.4.3. Técnicas de análisis de datos

Los datos analizados serán procesados en sus medidas de tendencia central y variabilidad, “caja de bigotes”, utilizando la hoja de cálculo de Excel y el software Infostat.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Cuantificación de la generación de energía eléctrica de *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

4.1.1.1. Generación de energía eléctrica: especie *Zea Mays L.*

Tabla 9. Voltaje (V) de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas										Suma de voltaje
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.546	0.350	0.427	0.532	0.438	0.429	0.489	0.475	0.412	0.355	4.453
2	0.548	0.323	0.367	0.452	0.454	0.425	0.474	0.468	0.403	0.416	4.33
3	0.553	0.388	0.454	0.527	0.443	0.421	0.466	0.498	0.423	0.429	4.602
4	0.426	0.397	0.441	0.373	0.445	0.420	0.479	0.487	0.456	0.410	4.334
5	0.543	0.408	0.422	0.470	0.450	0.395	0.467	0.470	0.417	0.420	4.462
6	0.531	0.407	0.464	0.375	0.422	0.385	0.308	0.487	0.411	0.424	4.214
7	0.528	0.405	0.459	0.370	0.428	0.392	0.425	0.470	0.440	0.422	4.339

Nota: V (voltios) es la unidad del voltaje.

Los valores del voltaje en las diez plantas de maíz fueron similares, con un mínimo de 0.3 V y un máximo de 0.5 V, al realizar la suma de voltaje por día se obtuvo 4 V., con dicho valor fue posible alimentar una linterna de un foco led blanco.

Tabla 10. Intensidad de corriente (A) de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.09	0.07	0.08	0.08
2	0.07	0.08	0.05	0.08	0.09	0.06	0.08	0.09	0.06	0.07
3	0.07	0.08	0.08	0.1	0.07	0.06	0.07	0.12	0.1	0.08
4	0.1	0.07	0.12	0.05	0.07	0.14	0.08	0.15	0.16	0.07
5	0.2	0.06	0.06	0.07	0.08	0.06	0.1	0.1	0.09	0.07
6	0.18	0.07	0.2	0.06	0.07	0.22	0.04	0.2	0.14	0.08
7	0.17	0.07	0.1	0.06	0.06	0.07	0.08	0.1	0.09	0.07

Nota: A (Amperios) es la unidad de la corriente.

Los valores de corriente en las diez plantas de maíz fueron similares, hubo una mínima variación por día, los valores variaron de 0.04 A a 0.1 A, los cuales fueron suficientes para lograr encender el led.

Tabla 11. Energía eléctrica (Joule) generada de cada muestra de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.044	0.025	0.026	0.037	0.026	0.021	0.044	0.033	0.033	0.028
2	0.038	0.026	0.018	0.036	0.041	0.026	0.038	0.042	0.024	0.029
3	0.039	0.031	0.036	0.053	0.031	0.025	0.033	0.060	0.042	0.034
4	0.043	0.028	0.053	0.019	0.031	0.059	0.038	0.073	0.073	0.029
5	0.109	0.024	0.025	0.033	0.036	0.024	0.047	0.047	0.038	0.029
6	0.096	0.028	0.093	0.023	0.030	0.085	0.012	0.097	0.058	0.034
7	0.090	0.028	0.046	0.022	0.026	0.027	0.034	0.047	0.040	0.030
Promedio	0.065	0.027	0.042	0.032	0.032	0.038	0.035	0.057	0.044	0.030

Nota: los valores de la energía eléctrica (J) resultaron de la multiplicación de corriente por el voltaje.

4.1.1.2. Generación de energía eléctrica por la especie *Manihot esculenta C.*

Tabla 12. Voltaje (V) de la especie *Manihot esculenta C.*

Días	Plantas										Suma de voltaje
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.366	0.439	0.420	0.415	0.448	0.395	0.449	0.454	0.418	0.430	4.234
2	0.364	0.454	0.428	0.425	0.436	0.406	0.438	0.434	0.425	0.428	4.238
3	0.352	0.458	0.430	0.428	0.403	0.411	0.420	0.440	0.429	0.422	4.193
4	0.340	0.421	0.424	0.427	0.430	0.410	0.438	0.361	0.430	0.420	4.101
5	0.343	0.425	0.405	0.421	0.384	0.418	0.430	0.390	0.420	0.425	4.061
6	0.364	0.428	0.393	0.363	0.384	0.387	0.375	0.378	0.432	0.347	3.851
7	0.361	0.450	0.420	0.402	0.386	0.391	0.370	0.369	0.449	0.355	3.953

Nota: V (voltios) es la unidad del voltaje.

Los valores del voltaje en las diez plantas de yuca fueron similares, con un mínimo de 0.3 V y un máximo de 0.4 V, al realizar la suma de voltaje por día se obtuvo 4 V, con dicho valor fue posible alimentar una linterna de un foco led blanco.

Tabla 13. Intensidad de corriente (A) de la especie *Manihot esculenta* C.

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1	0.2	0.09	0.07	0.08	0.07	0.18	0.08	0.07	0.08
2	0.08	0.09	0.06	0.1	0.07	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07
3	0.14	0.06	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08
4	0.09	0.19	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.05	0.08	0.08
5	0.1	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07
6	0.06	0.07	0.06	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04	0.08	0.08
7	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.06	0.07

Nota: A (Amperios) es la unidad de la corriente.

Los valores de corriente en las diez plantas de yuca fueron similares, hubo una mínima variación por día, los valores variaron de 0.04 A a 1.1 A, los cuales fueron suficientes para lograr encender el led.

Tabla 14. Energía eléctrica (Joule) por muestra de la especie *Manihot esculenta* C.

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.403	0.088	0.038	0.029	0.036	0.028	0.081	0.036	0.029	0.034
2	0.029	0.041	0.026	0.043	0.031	0.032	0.039	0.030	0.034	0.030
3	0.049	0.027	0.034	0.030	0.032	0.029	0.029	0.040	0.034	0.034
4	0.031	0.080	0.030	0.034	0.034	0.029	0.039	0.018	0.034	0.034
5	0.034	0.034	0.032	0.034	0.027	0.029	0.026	0.023	0.025	0.030
6	0.022	0.030	0.024	0.033	0.027	0.019	0.015	0.015	0.035	0.028
7	0.022	0.027	0.029	0.032	0.027	0.023	0.019	0.015	0.027	0.025
Promedio	0.084	0.047	0.030	0.033	0.031	0.027	0.035	0.025	0.031	0.031

Nota: los valores de la energía eléctrica (J) resultaron de la multiplicación de corriente por el voltaje.

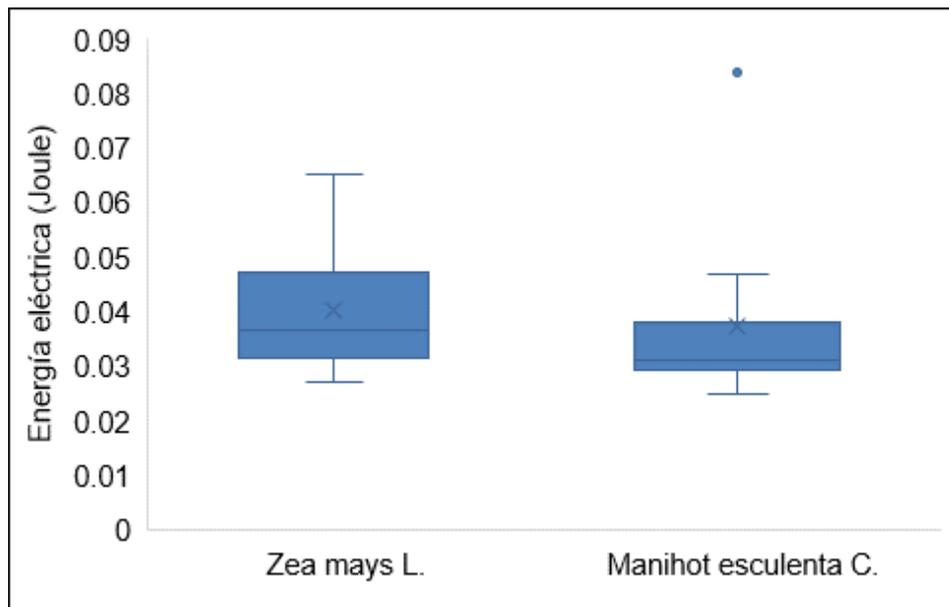


Figura 16. Caja de bigotes de la energía eléctrica (Joule) de las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

Las diez muestras de cada especie, en un lapso de siete días, generaron energía eléctrica, la especie *Zea mays L.* tuvo un valor mínimo de 0,027 J y como valor máximo 0,65 J, en consecuencia, el promedio obtenido es 0,040 J, por otro lado, *Manihot esculenta C.* obtuvo un valor mínimo de 0,08 J y como valor máximo 0,025 J, en consecuencia, el promedio obtenido es 0,037 J.

4.1.2. Biomasa vegetal según etapa fenológica de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

4.1.2.1. Biomasa vegetal en estado vegetativo de la especie *Zea mays L.*

Tabla 15. Biomasa vegetal (g) de la especie *Zea mays L.*

Número de muestras	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
	38	39	39	40	39
Promedio	39				

4.1.2.2. Biomasa Vegetal en crecimiento lento de la especie *Manihot esculenta C.*

Tabla 16. *Biomasa vegetal (g) de la especie Manihot Esculenta C.*

Número de muestras	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
	33	32	32	31	32
Promedio	32				

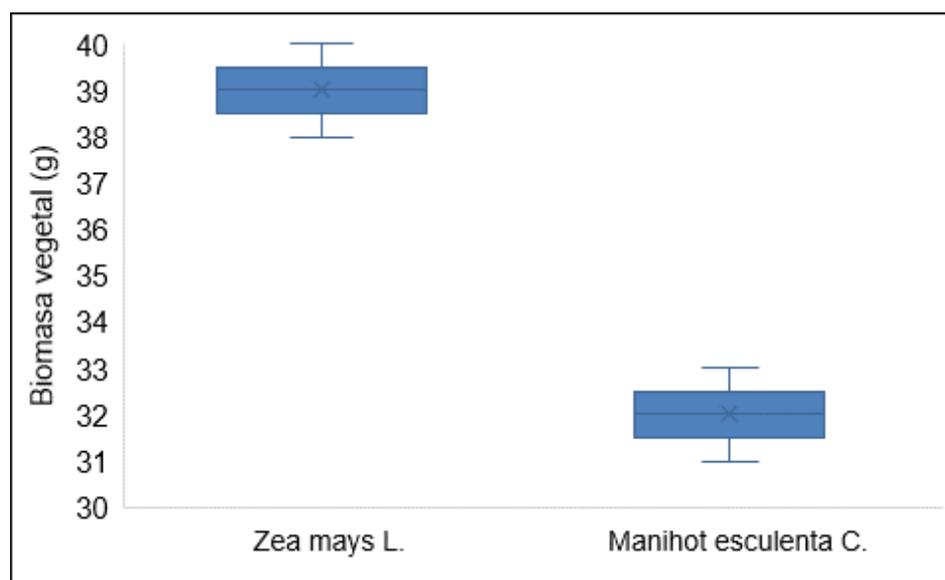


Figura 17. *Biomasa vegetal (g) de la especie Zea mays L. y Manihot esculenta C.*

Se muestra que la biomasa vegetal de las cinco muestras de la especie *Zea mays L.* en la etapa de estadio vegetativo oscila entre un valor de 38 g y 40 g, siendo el promedio 39 g, a diferencia de la biomasa vegetal de la especie *Manihot esculenta C.* que en la etapa de crecimiento lento osciló entre un valor de 31 g y 33 g, siendo el promedio 32 g.

En ambos casos se presentó una variación respecto a la biomasa, con una diferencia de 7 g.

4.1.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo donde se evalúa la generación de energía eléctrica de las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

4.1.3.1. Determinación de pH del suelo de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

Tabla 17. pH del suelo de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6.0	7.0	6.5	6.9	7.0	7.5	6.5	7.0	7.8	7.0
2	6.5	7.0	6.0	7.2	7.0	7	7.0	6.5	6.8	6.9
3	7.0	7.0	7.2	7.2	7.5	6.8	6.9	7.1	7.0	7.0
4	7.2	7.0	7.0	7.1	8.0	7.5	7.0	7.0	7.1	7.0
5	6.9	6.1	6.5	7.5	7.0	7.2	5.2	6.0	7.0	6.5
6	7.8	6.8	7.0	5.0	7.0	7.5	7.0	8.0	7.1	7.0
7	7.0	6.8	6.5	7.0	7.0	6.8	7.0	7.0	7.0	7.0
Promedio	6.91	6.81	6.67	6.84	7.21	7.19	6.66	6.94	7.11	6.91

Tabla 18. pH del suelo de la especie *Manihot esculenta C.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7.5	7.5	7.2	7.4	7.1	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1
2	7.0	7.5	7.1	7.5	7.0	7.5	7.1	7.0	7.2	7.0
3	7.0	7.0	7.2	7.2	7.5	6.8	6.9	7.7	7.0	7.0
4	7.0	7.0	7.5	7.0	6.5	7.2	6.3	7.1	7.0	7.1
5	7.1	6.8	7.0	7.1	6.5	7.0	7.1	6.2	7.2	7.2
6	7.0	7.1	7.5	7.5	7.0	8.0	7.0	7.5	7.5	7.0
7	7.0	6.7	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	7.3	7.2	7.0
Promedio	7.09	7.09	7.21	7.24	6.94	7.21	6.90	7.13	7.17	7.06

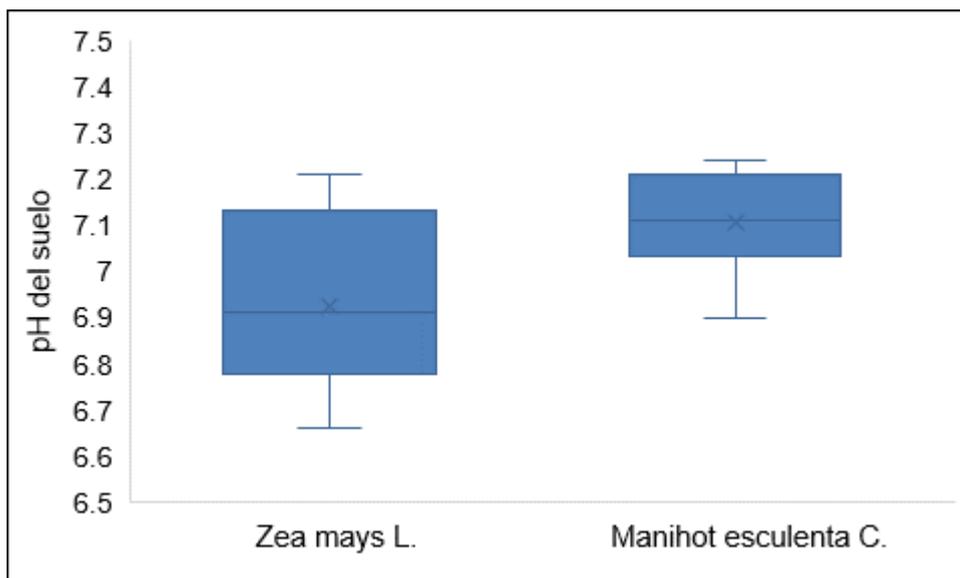


Figura 18. pH del suelo de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

El suelo donde se desarrolla la especie *Zea mays L.* oscila en un rango de 6.66 y 7.21 de pH, mientras que, el suelo donde se desarrolla la especie *Zea mays L.* oscila en un rango de 6.9 y 7.24 de pH, en ambos casos indica que es un suelo neutro hacia moderadamente alcalino.

4.1.3.2. Determinación de la temperatura del suelo de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

Tabla 19. Temperatura del suelo (°C) de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	16	16	16	16	16	16	15	16	16	15
2	15	15	16	15	16	15	15	15	16	16
3	16	16	16	16	16	16	17	16	16	17
4	14	13	13	13	12	12	13	13	14	13
5	15	14	14	15	15	14	15	14	15	15
6	15	15	15	14	15	14	15	15	15	15
7	12	13	12	14	12	13	12	12	13	13
Promedio	14.71	14.57	14.57	14.71	14.57	14.29	14.57	14.43	15.00	14.86

Tabla 20. Temperatura del suelo (°C) de la especie *Manihot Esculenta C.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2	16	15	15	15	16	16	16	15	16	16
3	17	17	16	17	16	17	16	16	17	17
4	12	13	13	12	13	13	12	13	13	13
5	15	14	14	14	13	15	15	15	13	14
6	15	16	15	15	14	15	15	15	16	15
7	13	13	13	14	13	13	13	14	14	13
Promedio	14.71	14.71	14.43	14.57	14.29	14.86	14.57	14.71	14.86	14.71

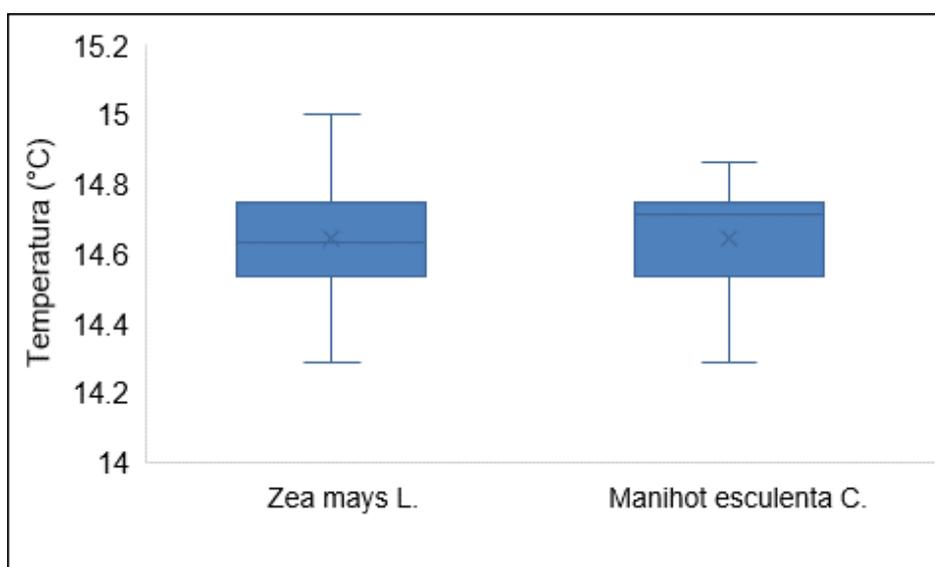


Figura 19. Temperatura del suelo (°C) de la especie *Zea mays L.* y *Manihot Esculenta C.*

La temperatura del suelo donde se desarrolló la especie *Zea mays L.* oscila de 14.29 °C hasta 15°C y la temperatura del suelo donde se desarrolló la especie *Manihot Esculenta C.* oscila de 14.29 °C hasta 14.86°C. La temperatura del suelo donde se desarrollan ambas especies es similar, por ende, no hay diferencia significativa en los datos.

4.1.3.3. Determinación de la humedad del suelo de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

Tabla 21. Humedad del suelo (%) de la especie *Zea mays L.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	62	50	50	59	50	50	67	70	70	60
2	60	50	55	61	50	61	70	55	55	65
3	70	68	55	79	50	55	80	80	75	70
4	50	100	90	70	60	80	100	80	70	65
5	98	100	100	90	80	70	100	100	82	70
6	70	90	70	56	80	90	90	60	70	80
7	70	80	81	80	90	75	90	80	80	75
Promedio	68.6	76.9	71.6	70.7	65.7	68.7	85.3	75	71.7	69.3

Tabla 22. Humedad del suelo (%) de la especie *Manihot esculenta C.*

Días	Plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50	45.	40	50	50	50	50	49	50	48
2	60	50	50	61	55	50	60	55	50	50
3	50	50	50	60	70	72	60	50	50	50
4	70	75	60	90	80	90	90	70	70	70
5	70	80	70	90	82	78	70	88	70	80
6	60	70	50	90	90	80	65	50	80	70
7	80	80	80	80	90	90	80	90	80	80
Promedio	62.9	64.3	57.1	74.4	73.9	72.9	67.9	64.6	64.3	64.0

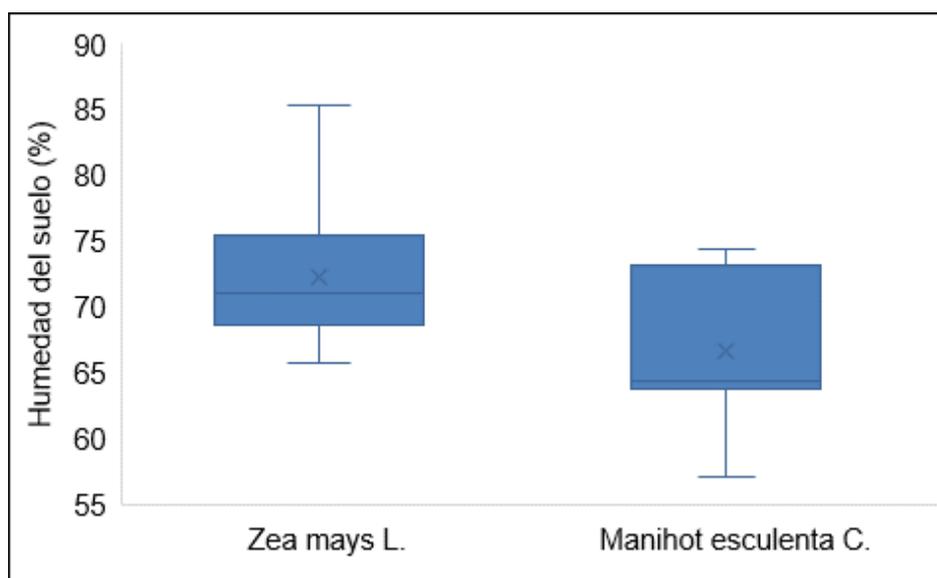


Figura 20. Humedad del suelo (%) de la especie *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

La humedad del suelo de la especie *Zea mays L.* tiene un valor mínimo de 65.7% y un valor máximo de 85.3%, mientras que la humedad del suelo de la especie *Manihot esculenta C.* tiene un valor mínimo de 57.1% y un valor máximo de 74.4%.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Comprobación de la hipótesis específica 1

Para comprobar la hipótesis específica 1, previamente se realizó la prueba de normalidad mediante el test de Shapiro Wilk por contar con menos de 50 muestras, ver tabla 21.

H₀: *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* no presentan diferente peso de biomasa en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica.

H₁: *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* presentan diferente peso de biomasa en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica.

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 23. Pruebas de normalidad de la biomasa

Tratamiento	Media (g)	D. E.	W*	p-valor
T1: <i>Zea mays L.</i>	39.000	0.707	0.908	0.5062
T2: <i>Manihot esculenta C.</i>	32.000	0.707	0.908	0.5062

Como p-valor es mayor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en ambos tratamientos, se acepta H₀ y se concluye que los datos de la población tienen una distribución normal. Se procede a realizar el análisis de varianza.

Tabla 24. Análisis de varianza de la biomasa

F.V.	S.C.	G. L.	C. M.	Fc.	p-valor
Especies	122.500	1	122.500	245.00	<0.0001
Error	4.000	8	0.500		
Total	126.500	9			

El análisis de varianza para la biomasa muestra alta significación estadística entre las dos especies vegetales (p -valor < 0.05), indicando que ambas especies tuvieron diferente desarrollo. Los datos se presentan en la tabla 23. Se procedió a realizar la prueba de Duncan.

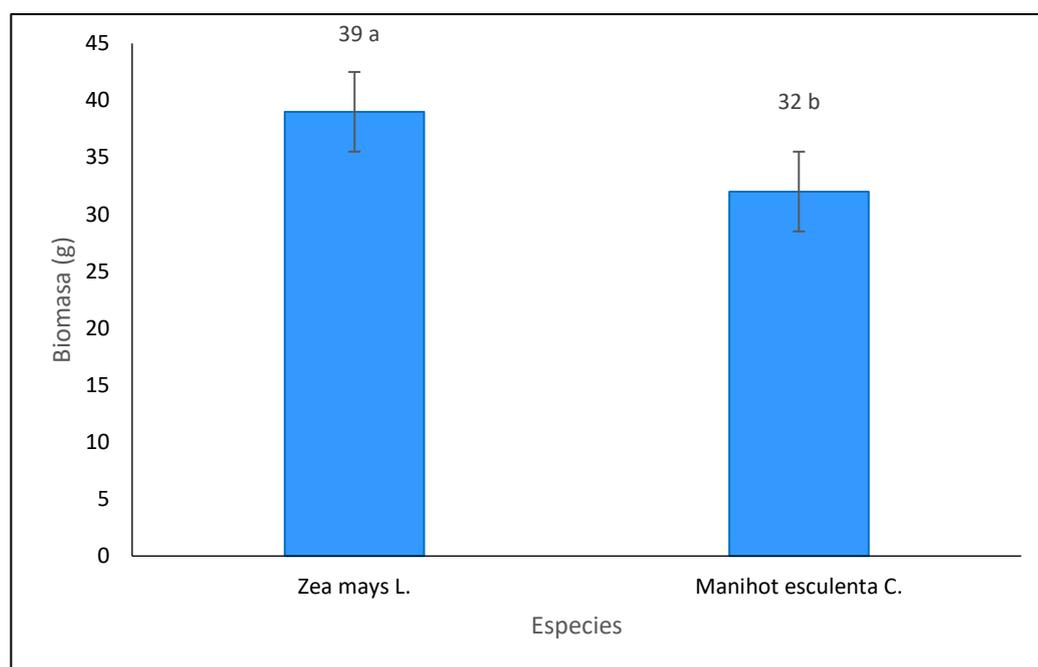


Figura 21. Prueba de Duncan para la biomasa vegetal. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico

La prueba de Duncan reveló que *Zea mays L.* tuvo biomasa significativamente mayor que *Manihot esculenta C.* con un promedio de 39 y 32 g, respectivamente, lo cual se atribuye al carácter genético.

4.2.2. Comprobación de la hipótesis específica 2

Para comprobar la hipótesis específica 2, previamente se realizó la prueba de normalidad mediante el test de Shapiro Wilk por contar con menos de 50 muestras, se detalla en la tabla 24.

H₀: los suelos donde crecen las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* no tienen propiedades fisicoquímicas variables.

H₁: los suelos donde crecen las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* tienen propiedades fisicoquímicas significativamente variables.

pH del suelo

se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H₁: la población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 25. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para el pH

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: <i>Zea mays L.</i>	6.93	0.50	0.85	<0.0001
T2: <i>Manihot esculenta C.</i>	7.10	0.29	0.91	<0.0001

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en ambos tratamientos, se rechaza H₀ y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procede a realizar la prueba de Kruskal Wallis, donde se tiene que ($\rho = 0.05$), si resulta que ρ crítico es mayor ρ observado, entonces se rechaza la H₀ y se acepta la H₁.

H₀: no existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del pH del suelo de la planta *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

$$Me1 = Me2$$

H₁: sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del pH del suelo de la planta *Zea mays L* y *Manihot esculenta C*.

$$Me1 \neq Me2$$

Tabla 26. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del suelo

Variable	Plantas	N	Medias	D. E.	gl	H	p
pH	1	70	6.9271	0.5027	1	8.4742	0.0026
pH	2	70	7.1043	0.2946			

En la tabla 25 se observa el valor del estadístico H, que para 1 grado de libertad fue de 8.4742. Se observa en la fila p y su valor de 0.0026. se puede decir que, como el valor de p es menor que 0.005, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen evidencias suficientes para plantear que sí hay variación en los resultados de pH de suelo de la especie *Zea mays L*. ante los resultados de la especie *Manihot esculenta C*.

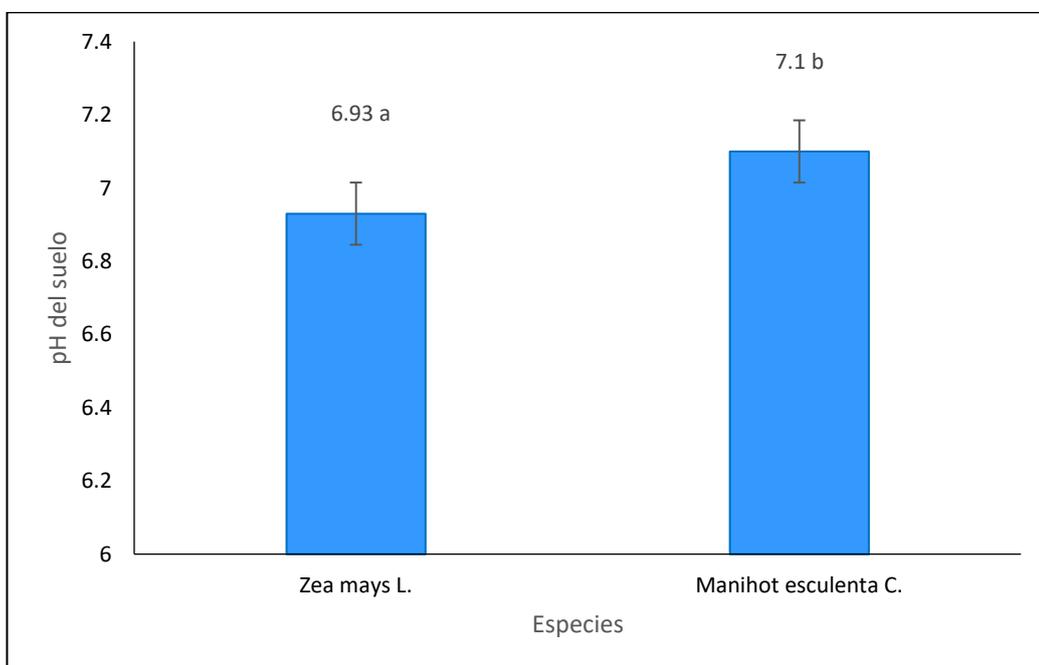


Figura 22. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH del suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico

La prueba de Kruskal-Wallis reveló que el suelo donde se desarrolló la especie *Zea mays L*. tuvo un pH menor que el suelo donde

se desarrolló la especie *Manihot esculenta* C. con un promedio de 6.93 y 7.1, respectivamente, pero en ambos casos indica que es característico de un suelo neutro hacia alcalino.

Temperatura del suelo

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H₁: la población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 27. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la temperatura

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: <i>Zea mays</i> L.	14.64	1.3835	0.8644	<0.0001
T2: <i>Manihot esculenta</i> C.	14.64	1.3517	0.8931	<0.0001

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en ambos tratamientos, se rechaza H₀ y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procede a realizar la prueba de Kruskal Wallis, donde se tiene que ($\rho = 0.05$), si resulta que ρ crítico es mayor ρ observado, entonces se rechaza la H₀ y se acepta la H₁.

H₀: no existen diferencias estadísticamente entre los resultados de la temperatura del suelo de la planta *Zea mays* L. y *Manihot esculenta* C.

$$Me1 = Me2$$

H₁: sí existe diferencias estadísticamente entre los resultados de la temperatura del suelo de la planta *Zea mays* L. y *Manihot esculenta* C.

$$Me1 \neq Me2$$

Tabla 28. Prueba de Kruskal-Wallis para la temperatura del suelo

Variable	Plantas	N	Medias	D. E.	gl	H	p
Temperatura 1	1	70	14.6429	1.3835	1	0.0605	0.8001
Temperatura 2	2	70	14.6429	1.3517			

En la tabla 27 se observa el valor del estadístico H, que para 1 grado de libertad fue de 0.0605. Se observa en la fila p y su valor de 0.8001. se puede decir que, como el valor de p es mayor que 0.005, entonces se acepta la hipótesis nula y se concluye que existen evidencias suficientes para plantear que no hay variación en los resultados de la temperatura del suelo de la especie *Zea mays L.* ante los resultados de la especie *Manihot esculenta C.*

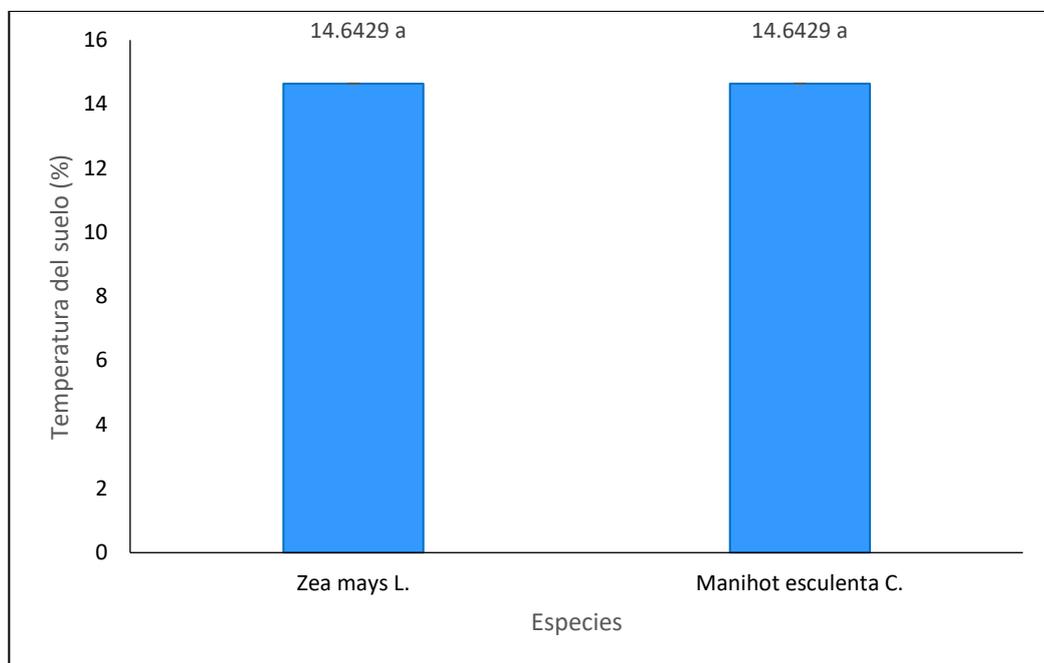


Figura 23. Prueba de Kruskal Wallis para la temperatura del suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico

La prueba de Kruskal-Wallis reveló que el suelo donde se desarrolló la especie *Zea mays L.* tiene valores similares al suelo donde se desarrolló la especie *Manihot esculenta C.*, esto a causa de las condiciones climatológicas, exactamente a la precipitación.

Humedad del suelo

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y planteamos la siguiente hipótesis:

H_0 : la población está distribuida normalmente.

H_1 : la población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 29. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la humedad del suelo

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: <i>Zea mays L.</i>	72.3429	14.9646	0.9126	0.0002
T2: <i>Manihot esculenta C.</i>	66.7429	15.0098	0.8718	<0.0001

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en ambos tratamientos, se rechaza H_0 y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procede a realizar la prueba de Kruskal-Wallis, donde se tiene que ($\rho = 0.05$), si resulta que ρ crítico es mayor ρ observado, entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

H_0 : no existen diferencias estadísticamente entre los resultados de la humedad del suelo de la planta *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

$$Me1 = Me2$$

H_1 : sí existen diferencias estadísticamente entre los resultados de la humedad del suelo de la planta *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

$$Me1 \neq Me2$$

Tabla 30. Prueba de Kruskal-Wallis para la humedad del suelo

Variable	Plantas	N	Medias	D. E.	gl	H	p
Humedad	1	70	72.3429	14.9646	1	4.1617	0.0395
Humedad	2	70	66.7429	15.0098			

En la tabla 29 se observa el valor del estadístico H, que para 1 grado de libertad fue de 4.1617. Se observa en la fila p y su valor de

0.0395. Se puede decir que, como el valor de p es menor que 0.005, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen evidencias suficientes para plantear que hay variación en los resultados de la humedad del suelo de la especie *Zea mays L.* ante los resultados de la especie *Manihot esculenta C.*

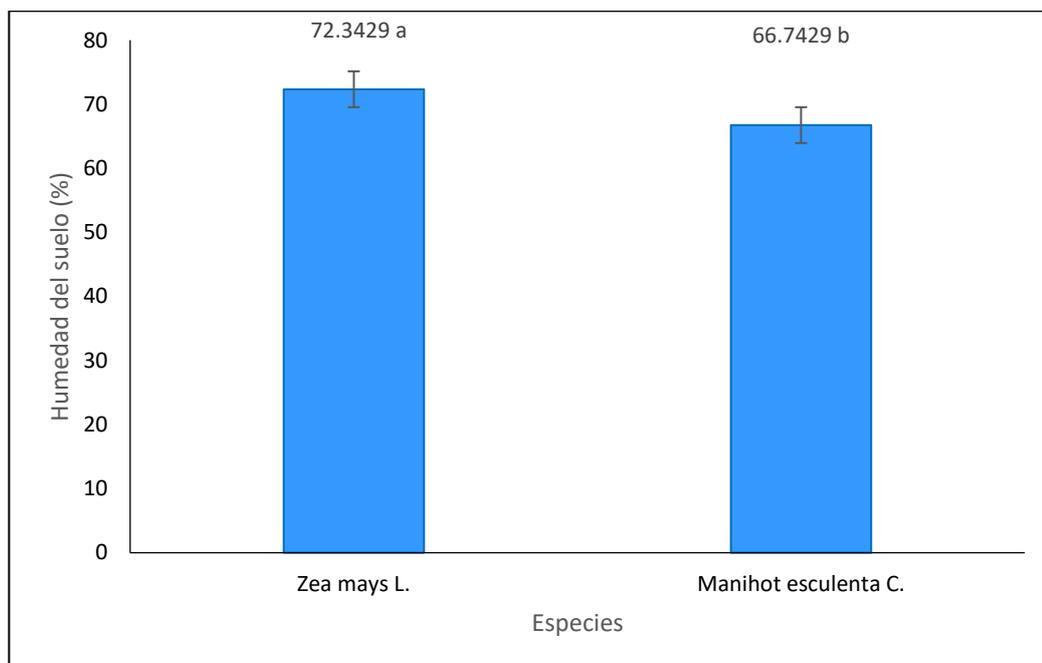


Figura 24. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de humedad del suelo. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico

La prueba de Kruskal-Wallis reveló que el suelo donde se desarrolló la especie *Zea mays L.* tiene un mayor valor de humedad respecto al suelo donde se desarrolló la especie *Manihot esculenta C.*, esto a causa de las condiciones climatológicas, exactamente a la precipitación.

4.2.3. Comprobación de la hipótesis específica 3

Para comprobar la hipótesis específica 3, previamente se realizó la prueba de normalidad mediante el test de Shapiro Wilk por contar con menos de 50 muestras, se detalla en la tabla 27.

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H_0 : la población está distribuida normalmente.

H_1 : la población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 31. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) para la energía eléctrica

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: <i>Zea mays L.</i>	0.0403	0.0206	0.8004	<0.0001
T2: <i>Manihot esculenta C.</i>	0.0375	0.0461	0.3048	<0.0001

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en ambos tratamientos, se rechaza H_0 y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal. Se procede a realizar la prueba de Kruskal Wallis, donde se tiene que ($\rho = 0.05$), si resulta que ρ crítico es mayor ρ observado, entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 .

H_0 : no existen diferencias estadísticamente entre los resultados de la energía eléctrica de la planta *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

$$Me_1 = Me_2$$

H_1 : sí existen diferencias estadísticamente entre los resultados de la energía eléctrica de la planta *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.*

$$Me_1 \neq Me_2$$

Tabla 32. Prueba de Kruskal-Wallis para la energía eléctrica

Variable	Plantas	N	Medias	D. E.	gl	H	p
E. E.	1	70	0.0403	0.0206	1	4.8146	0.0280
E. E.	2	70	0.0375	0.0461			

En la tabla 29 se observa el valor del estadístico H, que para 1 grado de libertad fue de 4.8146. Se observa en la fila p y su valor de 0.0280. Se puede decir que, como el valor de p es menor que 0.005, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen evidencias suficientes para plantear que hay variación en los resultados de la generación de energía eléctrica de la especie *Zea mays L.* ante los resultados de la especie *Manihot esculenta C.*

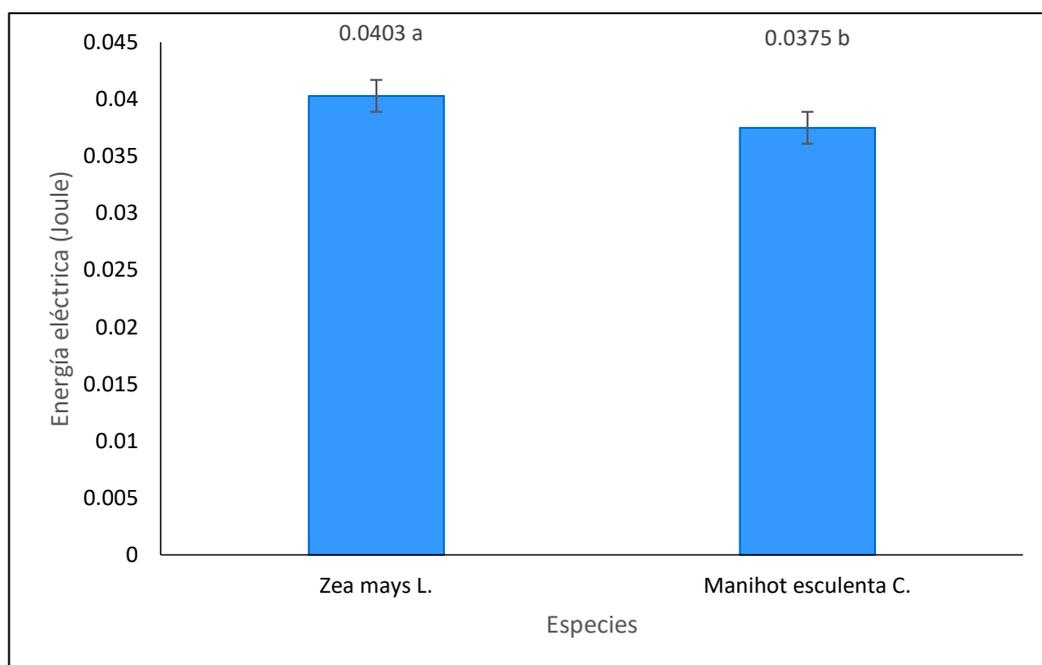


Figura 25. Prueba de Kruskal Wallis para la energía eléctrica. Las líneas verticales al centro de las barras representan el error típico

Los resultados del análisis de variancia no paramétrico de Kruskal Wallis mostraron superioridad estadística del maíz (*Zea mays L.*) respecto a yuca (*Manihot esculenta C.*). Los datos se presentan en la figura 24.

La prueba de Kruskal-Wallis reveló que la especie *Zea mays L.* generó diferentes cantidades de energía eléctrica, pero con una mínima diferencia respecto a la especie *Manihot esculenta C.*

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Voltaje y energía eléctrica

En relación a la pregunta de investigación ¿En qué medida las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* generan energía eléctrica

según su desarrollo fenológico y condiciones de suelo en el distrito de San Ramón, 2021? El voltaje y energía eléctrica generado del maíz (*Zea mays L.*) y la yuca (*Manihot esculenta C.*) responden a la etapa fenológica de estadio vegetativo y crecimiento lento respectivamente, desarrollándose en un suelo neutro hacia un suelo medianamente alcalino, los datos obtenidos por planta en los 7 días, respecto a la primera variable oscilaron entre 0,3 V a 0,5 V en ambas especies, se realizó la sumatoria por ser un circuito en serie, donde se obtuvo 4.46 V en el maíz y 4.24 en la yuca. Los resultados concuerdan por lo planteado en el artículo de Mata et al. “*Generación de electricidad a base de fotosíntesis*”, donde se obtuvieron datos del voltaje que oscilaban 0.4 V hasta 9 V. en los 6 días que recolectaron la información; cabe resaltar que las autoras trabajaron con 4 plantas diferentes: sábila (*Aloe barbadensis*), lengua de tigre (*Sansevieria trifasciata*), citronela (*Pelargonium citrosum*) y gazania (*Gazania x hybrida*), además, para mayor eficiencia diseñaron unas celdas de tierra donde se habilitó una conexión en serie-paralelo para activar voltaje y corriente (9). A pesar de no haber implementado sistemas adicionales, los datos se encontraron dentro del rango de valores de voltaje en el trabajo de investigación mencionado.

Lo mismo sucede en el artículo “*Electricidad a partir de plantas vivas*” (13), al comparar los resultados, debido a que muestra que los cuatro tipos de plantas utilizadas: geranio, maíz, fitonia y corazón de Jesús obtuvieron un valor de 0.98 V teniendo un promedio de 6.76 V por día durante 30 días, gracias a la configuración en serie de 8 celdas biológicas utilizando electrodos, en este rango de valores los resultados tienen mayor aproximación al valor máximo.

Respecto al objetivo general de cuantificar la generación de energía eléctrica por *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* según su desarrollo fenológico y condiciones de suelo en el distrito de San Ramón, 2021, los datos fueron de 0.0403 J del maíz y 0.0375 J de la yuca, los efectos difieren con los resultados obtenidos del trabajo de investigación: “*Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis*”

de las especies *Ipomea Purpurea* y *Palma Areca*, San Martín de Porres, 2017" (8), donde los datos oscilan entre 21,20 J hasta 23,38 J. Esto se podría relacionar con el tipo de planta y cantidad, puesto que se utilizaron las especies *Ipomea Purpurea* y *Palma Areca* teniendo 36 muestras de cada una colocadas en maceteros, y con la metodología planteada, a diferencia de esta investigación, la autora recolectó la información durante cinco semanas lo cual equivale a 35 días. Además, se evaluaron las variables: área foliar, radiación solar, temperatura de suelo y pH de suelo, en contraste, esta investigación evaluó la biomasa vegetal, humedad, pH y temperatura del suelo, solo coincidiendo estos dos últimos.

En base a lo mencionado, las plantas estarían dentro de las energías renovables o una fuente de energía verde, porque según lo mencionado en la investigación "*Generación de electricidad a base de fotosíntesis*" la maceta diseñada logró cargar un dispositivo móvil (celular) (9), del mismo modo, en el artículo "*Electricidad a partir de planta vivas*" el voltaje obtenido se utilizó para dar energía eléctrica a un foco led de 6 V (13), en la misma línea, en las condiciones de las plantas y etapa fenológica se logró un promedio de 4.46 V y 4.24 V, lo cual logró alimentar a una linterna de foco led, en dicha tendencia, al incrementar plantas se incrementaría los valores de voltaje y corriente eléctrica como se puede observar en el trabajo: "*Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea Purpurea y Palma Areca*, San Martín de Porres, 2017" (8).

4.3.2. Biomasa

Una de las variables que se analizó en la generación de energía eléctrica es la biomasa vegetal según su etapa fenológica, ambas especies se encontraban en etapas iniciales, siendo el estadio vegetativo para el maíz y crecimiento lento para la yuca. En tal sentido, la biomasa vegetal del maíz obtuvo 39 g y la yuca 32 g. En el caso del maíz que contaba con mayor biomasa vegetal, Fassio et al. en el libro "*Maíz: aspectos sobre fenología*" explica que dicho resultado se debe a que el maíz presenta características fisiológicas extremadamente favorables en

lo que se refiere a la eficiencia de conversión de CO₂ de la atmósfera, en compuestos orgánicos como los carbohidratos. Este proceso, que se realiza a través de la fotosíntesis, se refiere a la bioconversión de la energía solar en biomasa. En el maíz, la gran eficiencia de transformación de la energía luminosa en energía química se debe al proceso fotosintético llamado "C₄", en el cual, el CO₂ es fijado en compuestos de cuatro carbonos. Estos carbohidratos son continuamente almacenados en las células de la vaina vascular de las hojas y posteriormente redistribuidos (25).

4.3.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo

4.3.3.1. Temperatura

Durante la semana de evaluación de generación de energía eléctrica del maíz y la yuca según las condiciones de las propiedades fisicoquímicas, la variable humedad se mantuvo su valor entre 14 °C a 15 °C dentro de los 5 a 15 cm de profundidad, y en consecuencia en ambas especies de plantas se observó que el voltaje y la energía eléctrica mantuvieron sus valores, estos valores difieren con los resultados de la tesis *“Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martín de Porres, 2017”*, en referencia a dicha variable, donde la temperatura del suelo se incrementó con el transcurso de los días, yendo desde los 11,5 °C hasta llegar a 20 °C. que era directamente proporcional con el incremento de energía eléctrica, esto se atribuye al almacenamiento del suelo a evaluar (8).

Lo mismo sucede al comparar con la tesis *“Desarrollo de un prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas”*, donde se trabajó con las plantas de lechuga, anís y hierba buena, donde, durante tres días se monitoreó la variable temperatura del suelo respecto a la producción de energía eléctrica, obteniendo 0.3 V, 0.4 V y 0,6 V respectivamente, a una temperatura del suelo de 13 °C hasta 32

°C. La explicación a dicha tendencia son los contenedores del suelo, las plantas se encontraban almacenadas en bandejas y estos a su vez tenían suelos que contenían diversos compuestos cada uno, como materia orgánica, zumo de limón y fertilizantes, esto influyó en la variación de temperatura del suelo (12).

La presente investigación se desarrolló en un terreno de cultivo expuesto solo a las condiciones climáticas que tenían un comportamiento similar los días de evaluación, eso explica el porqué de los datos repetitivos.

4.3.3.2. Reacción

La evaluación de generación de energía eléctrica del maíz y la yuca según las condiciones de las propiedades fisicoquímicas, la variable pH mantuvo su valor dentro de los 5 a 15 cm de profundidad, el suelo de la especie *Zea mays L.* osciló en un rango de 6.66 y 7.21 de pH, y el suelo donde se desarrolla la especie *Zea mays L.* osciló en un rango de 6.9 y 7.24 de pH, el cual indica que en ambos casos se presenta un suelo neutro hacia un suelo medianamente alcalino según lo indicado en el libro "*La acidez y alcalinidad de los suelos*" (35), todo lo contrario se observó en la tesis: "*Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martín de Porres, 2017*", donde el suelo es ácido porque presenta un pH 5, manteniéndose este resultado constante para los suelos de ambas plantas, esta variable no influyó en la producción de energía eléctrica, y dicha acidez se debe porque utilizaron tierra preparada (presencia de abono) (8). Los resultados de pH se deben a la ausencia de cualquier insumo adicional para el enriquecimiento del suelo, esta tesis se limita a tomar los datos en sus condiciones naturales.

4.3.3.3. Humedad

La variable humedad del suelo presentó valores altos durante la evaluación de energía eléctrica dentro de los 5 a 15 cm de profundidad, pero los datos de voltaje y energía eléctrica no variaron. De esto se deduce que el resultado es independiente a la humedad del terreno es que no existe una influencia amplia por parte del agua sobre el voltaje obtenido gracias a las plantas, por lo tanto, se puede afirmar que el resultado es independiente a la humedad del terreno, un ejemplo sucede en la planta de la lechuga al observarse una disminución de voltaje cuando la tierra disminuye su humedad, comenzando con un valor de 0.37 V y terminando con un valor de 0.25 V, en el caso de la planta de anís se puede observar que existe un aumento de voltaje a medida que va disminuyendo la humedad, su valor inicial es de 0.37 V y su valor final de 0.5 V, y en la planta de la hierbabuena, expuesta, no es claro el efecto que produce la humedad en la obtención de voltaje (12).

CONCLUSIONES

1. La evaluación de la cantidad generada de energía eléctrica de las especies *Zea mays L.* y *Manihot esculenta C.* según la etapa fenológica de las plantas y las condiciones del suelo se lograron mediante la instalación de un sistema eléctrico que estuvo compuesto por un ánodo y cátodo que se encontraban en la zona de la rizosfera de cada planta, y estos a su vez tenían contacto con un circuito en serie, donde los datos obtenidos durante una semana del voltaje osciló entre 0,3 V a 0,5 V en ambas especies, al realizarse la sumatoria se obtuvo 4.46 V en el maíz y 4.24 V en la yuca, y respecto a la energía eléctrica los datos fueron de 0.0403 J del maíz y 0.0375 J de la yuca, dichos datos corroboran investigaciones anteriores, con la diferencia que la metodología planteada supone una contribución en la medida que se busca evaluar las condiciones de las plantas de cultivo en áreas de terrenos extensos.
2. Durante la evaluación de generación de energía eléctrica, la biomasa vegetal de la especie *Zea mays L.* en la etapa de estado vegetativo fue de 39 g, significativamente superior que la especie *Manihot esculenta C.* que tuvo una biomasa vegetal de 32 g.
3. El pH del suelo la especie *Zea mays L.* osciló en un rango de 6.66 y 7.21 de pH, y el suelo donde se desarrolla la especie *Manihot esculenta C.* osciló en un rango de 6.9 y 7.24 de pH, el cual indica que en ambos casos se presenta un suelo neutro hacia un suelo medianamente alcalino, debido a la ausencia de cualquier sustancia química para los cultivos de dicho terreno.
4. La temperatura del suelo de estudio dentro de los 5 a 15 cm de profundidad mantuvo su valor entre 14 °C a 15 °C, no estuvo sujeto a alteraciones porque desarrolló en un suelo expuesto solo a las condiciones climáticas, por ende, no mostró cambios bruscos de temperatura.
5. El maíz (*Zea mays L.*) en la etapa fenológica de estadio vegetativo, con 39 g de biomasa, y un suelo con un pH de 6.93 a 14 °C. de temperatura y 72% de

humedad produjo 4.6 V y 0.0403 J, superando mínimamente a la yuca (*Manihot esculenta C.*) que, en la etapa fenológica de crecimiento lento, con 32 g de biomasa, y un suelo con un pH de 7.1 a 14 °C de temperatura y 66% de humedad produjo 4.2 V y 0.0375 Joules.

6. Los valores de voltaje y energía eléctrica que produjeron el maíz (*Zea maíz L.*) y la yuca (*Manihot esculenta C.*) tuvieron el mismo comportamiento, los valores oscilaban en un rango, a pesar de tener diferentes biomásas, según las evaluaciones de los datos se puede observar que las condiciones del suelo son determinantes.

7. Ambas especies evaluadas de forma individual generaron energía eléctrica, pero en una mínima cantidad, no obstante, pueden cubrir la necesidad de alimentar una carga con requisitos mínimos, y al incrementar plantas al sistema, se pueden aumentar las cantidades de voltaje y energía eléctrica y podría cubrir otras demandas en el hogar, siendo una ventaja porque son fuente constante de energía, accesible y limpia.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar diversas especies vegetales en sus diferentes etapas fenológicas, para la generación de energía eléctrica.
2. Ensayar otros sistemas *in situ* de generación de energía eléctrica para especies vegetales y agregar sustratos al terreno de estudio.
3. Abarcar áreas de terreno de gran tamaño que involucre mayor cantidad de muestras.
4. Realizar la obtención de datos durante un tiempo prolongado y varias veces al día.
5. Aplicar otras variables de investigación y determinar su influencia en la generación de energía eléctrica.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **MATTHEWS, Y.; CHEN, X.; ZHOU, M. I.; GOMIS, E.; LONNOY, T.; MAYCOCK, M.; TIGNOR, Y.; WATERFIELD, T.** Anexo I: Glosario. Calentamiento global de 1,5 °C. In: *Calentamiento global de 1,5 °C*. 2018. ISBN 9781626239777.
2. **MAITI; BIDINGER.** *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del Perú*. 1981. ISBN 9788578110796.
3. **MARÍN, José; SAN MARTÍN, Enrique.** *Futuro de los combustibles fósiles*. 2010. 9(1), pp. 76 - 99.
4. **Osinergmin.** *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética* [online]. 2019. ISBN 9786124735066. Available from: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
5. **BRAVO, Javier.** *Aprovechamiento de bioaceite pirolítico en motores a reacción, motores diesel, calderas y bioexplosivos*. 2019.
6. **GONZÁLEZ, Yamilé; FERNÁNDEZ, Yaima; GUTIÉRREZ, Tania.** *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. 2013.
7. **IPCC.** Informe especial sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C. *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [online]. 2019. P. 110. Available from: www.environmentalgraphiti.org
8. **ZAMORA, Elisa.** *Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies *Ipomea purpurea* y *Palma areca*, San Martín de Porres, 2017*. 2017.
9. **MATA, María; DIMAS, Alejandra; MACHUCA, Lluvia; MEDINA, María.** *Generación de electricidad a base de fotosíntesis* [online]. 2017. Available from: www.ecorfan.org/bolivia
10. **ZAPIEN-RODRÍGUEZ, José Manuel; SOLORIO-DE JESÚS, Bianca Azucena; BALLESTEROS-PACHECO, Juan Carlos; NÚÑEZ-AYALA, Frida Libertad.** Generación eléctrica a partir de la fotosíntesis natural; ¿una realidad escalable? *Revista de Energías Renovables*. 2019. 3(1), p. 1 - 6.

DOI 10.35429/jre.2019.10.3.1.6.

11. **CALKINS, Jessica O.; UMASANKAR, Yogeswaran; O'NEILL, Hugh; RAMASAMY, Ramaraja P.** High photo-electrochemical activity of thylakoid-carbon nanotube composites for photosynthetic energy conversion. *Energy and Environmental Science*. 2013. 6(6), p. 1891–1900. DOI 10.1039/c3ee40634b.
12. **EGEA, Miquel.** *Desarrollo de prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas*. Fusagusagá, 2019.
13. **ROJAS, S.; ABURTO, A.; ESPILCO, N.; MINCHOLA, J.; RODRÍGUEZ, M.; FERNANDO, O.; MENDOZA, K.** Electricidad a partir de plantas vivas. *Revista Cientifi-K*. 2018. 6(1), pp. 36 - 40. DOI 10.18050/cientifi-k.v6n1a4.2018.
14. **Municipalidad distrital de San Ramón.** [online]. [Accessed 28 March 2021]. Available from: <https://www.munisanramon.gob.pe/distrito/>
15. **Municipalidad distrital de Chanchamayo.** *Plan vial provincial participativo de Chanchamayo 2012 - 2021*. 2012. p. 350.
16. **Senamhi.** *Un buen clima*. Lima, 2018. p. 147. ISBN 9781626239777.
17. **SALAZAR, Antonio.** *Fundamentos de circuitos* [online]. Bogotá, 2009. [Accessed 28 March 2021]. ISBN 978-958-695-414-3. Available from: <https://www.coursehero.com/file/42790163/MA01-AP2-AA1pdf/>
18. **Osinermin.** *La industria de la electricidad en el Perú* [online]. 2016. ISBN 978-612-47350-0-4. Available from: http://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Industria-Electricidad-Peru-25años.pdf
19. **GÓMEZ, José.** *Circuitos eléctricos II* [online]. España, 1991. [Accessed 28 March 2021]. ISBN 84-7468-288-6. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=198129>
20. **RIPA, I.; REGUEIRO, G.** *Módulo: fotosíntesis*. [online]. 2000. pp. 1 - 28. Available from: http://agrarias.unlz.edu.ar/archivos_descargables/rvmaterialdebiologaparaelccf/FOTOSÍNTESIS.pdf
21. **PÉREZ-URRIA, Elena.** *Fotosíntesis: aspectos básicos. Reduca (Biología)*.

2009. 2(3), pp. 1 - 47.
22. **CORDERO, Rocío.** *La fotosíntesis y sus etapas en el proceso de producción de glucosa en las plantas.* Universidad Técnica de Babahoyo, 2020.
 23. **ALMANZA, Karla.** *Respuestas fisiológicas, anatómicas y de crecimiento de *Beaucarnea pliabilis* (Baker) J.N. Rose a atmósferas enriquecidas con bióxido de carbono.* Centro de investigación científica de Yucatán, 2012.
 24. **YZARRA, Wilfredo; TREBEJO, Irene; NORIEGA, Victor; JÁCOBO, Tania.** *Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú* [online]. Lima, 2010. Available from: <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-10.pdf>
 25. **FASSIO, Alberto; CARRIQUIRY, Ana; TOJO, Cecilia; ROMERO, Ricardo.** *Maíz: aspectos sobre fenología.* Paraguay, 1998. ISBN 9974380952.
 26. **DÁVALOS, Andrea.** *Diversidad de maíz en la selva peruana.* 2013.
 27. **ARTICA, Martha; ECHE, Luis; QUIÑONES, Crecencio; SUASNABAR, Oscar; TONGO, Francisco; SARAVIDA, Jaime.** *Caracterización morfológica de cuatro accesiones de yuca (*Manihot esculenta*) en el valle de Oxapampa* [online]. Universidad Daniel Alcides Carrión, 2018. Available from: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1379>
 28. **SEGREDA, Ana; SABORÍO, Daniel; AGUILAR, Edgar; MORALES, Jorge; CHACÓN, Miguel; RODRÍGUEZ, Ligia; ACUÑA, Pablo; TORRES, Sergio; GÓMEZ, Yannery.** *Cultivo de yuca* [online]. 2009. ISBN 9789968586160. Available from: [file:///C:/Users/Usuario/Documents/Universidad/Fitopatologia/BVE17068917e\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Documents/Universidad/Fitopatologia/BVE17068917e(1).pdf)
 29. **PÉREZ, Nelvis.** *Características generales y usos de la yuca* [online]. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” 2018. Available from: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43066/K65260PérezSánchezNelvisAlexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 30. **SUÁREZ, Lorenzo; MEDEROS, Víctor R.** Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales.* 2011. 32(3), pp. 27 - 35.
 31. **ROJAS, Magda.** *Estudio de las características fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y sus efectos en la calidad de hojuelas fritas para su procesamiento en la empresa Pronal S. A.* 2012.

32. **NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T.** Maize response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *Field Crops Research*. 1992. 29, pp. 23 - 35.
33. **Ministerio del Ambiente.** *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo* [online]. Lima, 2017. ISBN 9780778576914. Available from: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf
34. **ZAMBRANO, José.** *Determinación de la humedad y temperatura de un suelo para uso agrícola*. Universidad Autónoma de Barcelona. 2014. pp. 1 - 12.
35. **SIERRA, Carlos.** *La acidez y alcalinidad de los suelos (pH)* [online]. Osorno, 1982. Available from: Instituto de Investigaciones Agropecuarias
36. **GONZÁLES, Luis.** *¿Qué son el ánodo y el cátodo?* 2019.
37. **BARRERO-BARRERO, David; BAQUERO-VALDÉS, Fabio.** Objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Científica General José María Córdova*. 2020. Vol. 18, no. 29, p. 113–137. DOI 10.21830/19006586.562.
38. **CEGARRA SÁNCHEZ, José.** *Metodología de la investigación científica y tecnológica* [online]. 2006. ISBN 84-7978-624-8. Available from: <https://www.freelibros.me/metodologia-de-la-investigacion/metodologia-de-la-investigacion-cientifica-y-tecnologica-jose-cegarra-sanchez>
39. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; COLLADO FERNÁNDEZ, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la investigación* [online]. 6. México D. F., 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0. Available from: https://www.pj.gob.pe/wps/wcm/connect/cortesuprema/s_cortes_suprema_home/as_inicio
40. **YUNI, J.; URBANO, C.** *Técnicas para investigar, recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*. 2014. ISBN 9789875915480.

ANEXOS

Materiales y equipos



Anexo 1. Multiparámetro



Anexo 2. Medidor pH y humedad del suelo.



Anexo 3. Sensor de temperatura de suelo



Anexo 4. Cautín



Anexo 5. Malla galvanizada



Anexo 6. Cable mellizo 12

Construcción del sistema eléctrico e instalación



Anexo 7. Cortado de la malla



Anexo 8. Conexión del ánodo



Anexo 9. Conexión del cátodo



Anexo 10. Colocación del cátodo cerca de la raíz de la planta



Anexo 11. Colocación del ánodo cerca de la raíz de la planta



Anexo 12. Instalación del sistema a la especie *Manihot esculenta* C.



Anexo 13. Instalación del sistema a la especie *Zea mays* L.



Anexo 14. Prueba de la energía almacenada

Anexo 15. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General ¿En qué medida las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> generan energía eléctrica en el distrito de San Ramón, 2021?</p>	<p>General: Cuantificar la generación de energía eléctrica por <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> en el distrito de San Ramón, 2021.</p>	<p>General Las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> generan energía eléctrica a partir de la captación de electrones libres, en la medida de su desarrollo fenológico y factores ambientales prevalentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Variables dependientes: Energía eléctrica • Indicadores: voltaje medido, corriente medida. • Variables independientes: Especies vegetales • Indicadores: <i>Zea mays L.</i>, <i>Manihot esculenta C.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Método general: Deductivo • Método específico: Experimental • Investigación aplicada • Nivel explicativo • Diseño: Experimento puro • Diseño con posprueba y un grupo de control
<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué cantidad de biomasa tienen <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica? • ¿Qué características tiene el suelo donde se evalúa la fijación eléctrica en <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i>? • ¿Cuál de las dos especies evaluadas genera mayor energía eléctrica? 	<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la biomasa vegetal de <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica. • Analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se evalúa la generación de energía eléctrica de las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> • Estimar la generación de energía eléctrica en las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> en el distrito de San Ramón. 	<p>Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> presentan diferente peso de biomasa en la etapa fenológica de evaluación de generación de energía eléctrica. • Los suelos donde crecen las especies <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> tiene propiedades fisicoquímicas significativamente variables. • Las especies de plantas <i>Zea mays L.</i> y <i>Manihot esculenta C.</i> generan diferentes cantidades de energía eléctrica. 		

Anexo 15. Ficha técnica de recolección de datos de la humedad del suelo

Datos de la Humedad del suelo											
Variable Independiente:	Especies Vegetales		Fecha:	08/03/21	11/03/21	Hora:	4:00pm	Zona:	13L		
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	N° de planta	Coordenadas UTM		Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461990.38	8768477.171	62	60	70	50	98	70	70	68.6
	2	461992.01	8768478.554	50	50	68	100	100	90	80	76.9
	3	461992.18	8768479.209	50	55	55	90	100	70	81	71.6
	4	461993.985	8768479.231	59	61	79	70	90	56	80	70.7
	5	461995.01	8768480.122	50	50	50	60	80	80	90	65.7
	6	461995.268	8768478.81	50	61	55	80	70	90	75	68.7
	7	461999.646	8768478.121	67	70	80	100	100	90	90	85.3
	8	461999.696	8768478.229	70	55	80	80	100	60	80	75
	9	461999.061	8768478.94	70	55	75	70	82	70	80	71.7
	10	461999.58	8768478.50	60	65	70	65	70	80	75	69.3
Yuca (<i>Manihot esculenta</i> C.)	1	461980.061	8768490.32	50	60	50	70	70	60	80	62.9
	2	461980.21	8768488.61	45	50	50	75	80	70	80	64.3
	3	461979.62	8768487.191	40	50	50	60	70	50	80	57.1
	4	461979.45	8768487.27	50	61	60	90	90	90	80	74.4
	5	461979.84	8768489.26	50	55	70	80	82	90	90	73.9
	6	461979.50	8768488.19	50	50	72	90	78	80	90	72.9
	7	461981.28	8768488.05	50	60	60	90	70	65	80	67.9
	8	461981.68	8768488.30	49	55	50	70	88	50	90	64.6
	9	461979.04	8768488.65	50	50	50	70	70	80	80	64.3
	10	461979.315	8768488.45	48	50	50	70	80	70	80	64.0

Anexo 16. Ficha técnica de recolección de datos de la temperatura del suelo

Datos del pH del suelo											
Variable Independiente:	Especies Vegetales		Fecha:	05/03/21	11/05/21	Hora:	11:00 pm	Zona:	18L		
Maiz (Zea mays L.)	N° de planta	Coordenadas UTM		Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461990.23	8763477.171	6.0	6.5	7.0	7.2	6.9	7.8	7.0	6.91
	2	461992.01	8763478554	7.0	7.0	7.0	7.0	6.1	6.8	6.8	6.81
	3	461992.192	8763479209	6.5	6.0	7.2	7.0	6.5	7.0	6.5	6.67
	4	461995.925	8763471.997	6.9	7.2	7.2	7.1	7.5	5.0	7.0	6.84
	5	461995.01	8763490.122	7.0	7.0	7.5	8.0	7.0	7.0	7.0	7.21
	6	461995.268	876347899	7.5	7	6.8	7.5	7.2	7.5	6.8	7.19
	7	461994.64	8763473.31	6.5	7.0	6.9	7.0	5.2	7.0	7.0	6.66
	8	461994.68	8763473.11	7.0	6.5	7.1	7.0	6.0	8.0	7.0	6.94
	9	461994.04	8763473.279	7.8	6.8	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.11
	10	461994.58	8763473.50	7.0	6.9	7.0	7.0	6.5	7.0	7.0	6.91
Yuca (Manihot esculenta C.)	1	461980.161	8763490.32	7.5	7.0	7.0	7.0	7.1	7.0	7.0	7.09
	2	461980.11	8763483.61	7.5	7.5	7.0	7.0	6.8	7.1	6.7	7.04
	3	461979.62	8763481.19	7.2	7.1	7.2	7.5	7.0	7.5	7.0	7.21
	4	461979.45	8763481.22	7.4	7.5	7.2	7.0	7.1	7.5	7.0	7.24
	5	461979.34	8763485.50	7.1	7.0	7.5	6.5	6.5	7.0	7.0	6.94
	6	461979.50	8763483.19	7.0	7.5	6.8	7.2	7.0	8.0	7.0	7.21
	7	461981.128	876348.15	7.0	7.1	6.9	6.3	7.1	7.0	6.9	6.90
	8	461981.28	876348.36	7.1	7.0	7.7	7.1	6.2	7.5	7.3	7.13
	9	461979.52	8763483.65	7.1	7.2	7.0	7.0	7.2	7.5	7.2	7.17
	10	461979.20	8763483.48	7.1	7.0	7.0	7.1	7.2	7.0	7.0	7.06

Anexo 17. Ficha técnica de recolección de datos del pH de suelo.

Datos de la Temperatura del suelo											
Variable Independiente:	Especies Vegetales		Fecha:	08/03/21 [14/03/21]	Hora:	4:00 PM	Zona:	1SL			
Maíz (<i>Zea mays L.</i>)	N° de planta	Coordenadas UTM		Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461990.73	8763477.77	16	15	16	14	15	15	12	14.71
	2	461992.01	8763473.54	16	15	16	13	14	15	13	14.57
	3	461992.192	8763479709	16	16	16	13	14	15	12	14.57
	4	461993.985	8763479739	16	15	16	13	15	14	14	14.71
	5	461995.01	8763480.112	16	16	16	12	15	15	12	14.57
	6	461995.263	8763473599	16	15	16	12	14	14	13	14.29
	7	461994.444	8763473.81	15	15	17	13	15	15	12	14.57
	8	461994.04	8763473.01	16	15	16	13	14	15	12	14.43
	9	461994.061	8763473.229	16	16	16	14	15	15	13	15.00
	10	461994.53	8764173.50	15	16	17	13	15	15	13	14.86
Yuca (<i>Manihot esculenta C.</i>)	1	461980.001	8763450.32	15	16	17	12	15	15	13	14.71
	2	461980.11	8763438.61	15	15	17	13	14	16	13	14.71
	3	461979.62	8763437.19	15	15	16	13	14	15	13	14.43
	4	461979.45	8763437.77	15	15	17	12	14	15	14	14.57
	5	461979.34	8763437.50	15	16	16	13	13	14	13	14.29
	6	461979.50	8763433.09	15	16	17	13	15	15	13	14.86
	7	461981.118	8763430.15	15	16	16	12	15	15	13	14.57
	8	461981.08	8763430.30	15	15	16	13	15	15	14	14.71
	9	461979.024	8763435.65	15	16	17	13	13	16	14	14.86
	10	461979.36	8763433.93	15	16	17	13	14	15	13	14.71

Anexo 18. Ficha técnica de recolección de datos del Voltaje.

Datos del Voltaje										
Variable Independiente:	Especies Vegetales		Fecha:	05/03/21	14/03/21	Hora:	4:00 pm	Zona:	18 L	
Maiz (Zea mays L.)	N° de planta	Coordenadas UTM	Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461950.73 8768477.171	0.546	0.548	0.553	0.426	0.543	0.531	0.528	0.525
	2	461992.01 8768478.559	0.350	0.323	0.388	0.397	0.408	0.407	0.405	0.380
	3	461992.192 8768479.209	0.427	0.367	0.454	0.441	0.422	0.464	0.459	0.433
	4	461993.985 8768479.739	0.532	0.452	0.527	0.373	0.470	0.375	0.370	0.442
	5	461995.01 8768478.112	0.438	0.454	0.443	0.445	0.450	0.427	0.428	0.440
	6	461995.263 8768047899	0.429	0.425	0.421	0.420	0.395	0.385	0.392	0.409
	7	461994.616 8768478.311	0.489	0.474	0.466	0.479	0.467	0.368	0.425	0.444
	8	461994.646 8768478.111	0.475	0.468	0.493	0.487	0.470	0.437	0.470	0.479
	9	461994.661 8768478.029	0.412	0.403	0.423	0.456	0.417	0.411	0.440	0.430
	10	461994.58 8768478.50	0.355	0.416	0.429	0.410	0.420	0.424	0.422	0.411
Yuca (Manihot esculenta C.)	1	461980.061 8768490.32	0.366	0.364	0.352	0.340	0.343	0.364	0.361	0.355
	2	461980.11 8768488.61	0.439	0.454	0.453	0.421	0.425	0.428	0.450	0.439
	3	461979.62 8768489.19	0.420	0.428	0.430	0.424	0.405	0.393	0.420	0.417
	4	461979.45 8768489.27	0.415	0.425	0.428	0.419	0.421	0.363	0.402	0.412
	5	461979.84 8768489.50	0.448	0.436	0.403	0.430	0.384	0.384	0.386	0.410
	6	461979.50 8768488.19	0.395	0.406	0.411	0.410	0.418	0.337	0.391	0.403
	7	461979.113 8768486.15	0.449	0.438	0.420	0.438	0.430	0.375	0.370	0.417
	8	461981.28 8768486.36	0.454	0.434	0.440	0.361	0.390	0.378	0.369	0.404
	9	461979.64 8768488.65	0.418	0.425	0.429	0.430	0.420	0.432	0.449	0.429
	10	461979.85 8768488.15	0.430	0.428	0.422	0.420	0.425	0.347	0.355	0.403

Anexo 19. Ficha técnica de recolección de datos de la corriente.

Datos de la Energía Eléctrica											
Variable Independiente:	Espacios Vacíos		Fecha:		Hora:		Zona:				
			02/03/21	11/03/21	4:00pm		18L				
Maíz (Zea mays L.)	N° de planta	Coordenadas UTM		Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461910.73	8768477.171	0.041	0.038	0.039	0.043	0.009	0.016	0.010	0.065
	2	461912.01	8768478.554	0.025	0.026	0.031	0.028	0.024	0.028	0.028	0.027
	3	461912.712	8768477.209	0.026	0.018	0.036	0.053	0.025	0.093	0.016	0.042
	4	461913.918	8768479.239	0.037	0.036	0.053	0.019	0.033	0.023	0.022	0.032
	5	461915.01	8768480.122	0.026	0.041	0.031	0.031	0.036	0.030	0.026	0.032
	6	461915.263	8768478.79	0.021	0.026	0.025	0.059	0.024	0.035	0.027	0.038
	7	461914.146	8768478.29	0.044	0.038	0.033	0.038	0.047	0.012	0.034	0.035
	8	461914.616	8768478.121	0.033	0.042	0.020	0.073	0.049	0.097	0.047	0.067
	9	461914.061	8768478.709	0.033	0.024	0.042	0.073	0.038	0.058	0.040	0.044
	10	461914.58	8768478.50	0.028	0.029	0.034	0.029	0.029	0.034	0.030	0.030
Yuca (Manihot esculenta C.)	1	461920.011	8768490.32	0.003	0.029	0.049	0.031	0.034	0.021	0.022	0.084
	2	461920.21	8768488.67	0.088	0.041	0.027	0.080	0.034	0.030	0.027	0.047
	3	461919.62	8768489.19	0.039	0.026	0.034	0.030	0.032	0.024	0.029	0.030
	4	461919.45	8768489.27	0.029	0.043	0.030	0.034	0.034	0.033	0.032	0.033
	5	461919.81	8768489.50	0.036	0.031	0.032	0.034	0.027	0.027	0.027	0.031
	6	461919.50	8768488.19	0.028	0.032	0.029	0.029	0.029	0.019	0.023	0.027
	7	461921.128	8768486.15	0.081	0.039	0.029	0.039	0.026	0.005	0.019	0.035
	8	461921.28	8768486.36	0.036	0.030	0.040	0.018	0.023	0.015	0.015	0.025
	9	461919.44	8768488.65	0.029	0.034	0.034	0.034	0.025	0.035	0.027	0.031
	10	461919.86	8768488.45	0.034	0.030	0.034	0.034	0.030	0.028	0.025	0.031

Anexo 20. Ficha técnica de recolección de datos de la energía eléctrica

Datos de la Corriente Eléctrica											
Variable Independiente:	Especies Vegetales		Fecha: 08/03/21 14/03/21		Hora: 4:00 pm		Zona: 18L				
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	N° de planta	Coordenadas UTM		Día N° 1	Día N° 2	Día N° 3	Día N° 4	Día N° 5	Día N° 6	Día N° 7	Promedio
	1	461991.03	8768477.171	0.08	0.07	0.07	0.1	0.2	0.18	0.17	0.12
	2	461992.01	8768478.554	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09
	3	461992.192	8768479.209	0.06	0.05	0.08	0.12	0.06	0.2	0.1	0.09
	4	461993.915	8768478.915	0.07	0.08	0.1	0.05	0.07	0.06	0.06	0.07
	5	461995.01	8768478.122	0.06	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	0.06	0.07
	6	461995.268	8768478.94	0.05	0.06	0.06	0.14	0.06	0.22	0.07	0.09
	7	461994.646	8768478.31	0.09	0.08	0.07	0.08	0.1	0.04	0.08	0.07
	8	461994.64	8768478.131	0.07	0.09	0.12	0.15	0.1	0.2	0.1	0.33
	9	461994.61	8768478.229	0.08	0.06	0.1	0.16	0.09	0.14	0.09	0.10
	10	461994.58	8768478.50	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
Yuca (<i>Manihot esculenta</i> C.)	1	461980.061	8768490.32	1.1	0.08	0.14	0.09	0.1	0.06	0.06	0.23
	2	461980.21	8768488.61	0.2	0.09	0.06	0.19	0.08	0.07	0.06	0.11
	3	461974.62	8768489.19	0.09	0.06	0.08	0.07	0.08	0.06	0.04	0.07
	4	461974.45	8768489.22	0.07	0.1	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08
	5	461979.84	8768489.50	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
	6	461979.50	8768488.19	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.07
	7	461981.128	8768486.15	0.18	0.09	0.07	0.09	0.06	0.04	0.05	0.08
	8	461981.23	8768486.36	0.08	0.07	0.09	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06
	9	461979.64	8768488.65	0.07	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.06	0.07
	10	461979.815	8768488.45	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08