



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

*Trabajo de diploma en opción al título académico de Ingeniero
Agrónomo.*

Título: Comportamiento productivo de variedades de (*Solanum tuberosum* L.) con fertilización basada en abono con biochar y microorganismos eficientes nativos IHPLUS® BF.

Autora: Claudia de la Caridad Prieto Peraza.

Tutores: Leyma Rodríguez Navarro, Ing., MSc.
DrC. Gertrudis Pentón Fernández, Ing., MSc.
Dr.C. Giraldo Jesús Martín Martín, Ing.

Matanzas: 2023

PENSAMIENTO

"La agricultura ecológica de hoy ha evolucionado hasta convertirse en un sistema extraño, donde usted tiene que...

Comprar cosas caras que están lejos, en lugar de valorar lo que está cerca y barato."

Youngsang Cho

NOTA DE ACEPTACIÓN

del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Tribunal

Evaluación

Declaración de autoridad.

Declaro que yo, Claudia de la Caridad Prieto Peraza soy la única autora de este trabajo de diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo por lo que autorizo a la Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos" del municipio Matanzas a hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres y mi tía: Sra. Raiza, Sr. William y Sra. Lourdes Francisca, quienes con, su amor, confianza, comprensión y sacrificio durante todos estos años de mi carrera universitaria, me han dado las fuerzas para lograr las metas trazadas, del mismo modo a mi esposo Jorge Yuniel quien con su compañía, su cariño y apoyo incondicional me motivó a culminar con este proyecto y seguir creciendo en mi vida personal y profesional. A mis profesores por dedicar todos estos años a nutrirme con todos sus conocimientos, de igual manera a mis tutoras por la confianza y el apoyo incondicional para poder lograr de manera satisfactoria esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme y nunca abandonarme en los momentos de dificultad, por darme fortaleza para llegar a mi meta trazada.

A mis padres quienes, con amor incondicional, por los consejos, valores y su apoyo desinteresado me han ayudado a lograr un sueño más.

A mi esposo y compañero de vida que estuvo ahí para apoyarme, ayudarme en los momentos que lo necesitaba, quien me motivó a nunca rendirme; gracias a él esta meta se hace menos agobiante.

A Lourdes Francisca, mi tía, que me dió un empuje desde niña para establecer esta meta, por amarme siempre. Este logro es gracia a ti.

A mis tutores Dr.C Gertrudis Pentón Fernández por su asesoría, acompañamiento y constante retroalimentación, a la MSc. Leyma Rodríguez Navarro por su apoyo incondicional, ideas, recomendaciones respecto a esta investigación y al Dr.C Giraldo Jesús Martín Martín por sus excelentes contribuciones.

A la Universidad de Matanzas, por permitir formarme en sus aulas como profesional.

A la facultad de Ciencias Agropecuarias y a sus docentes quienes les debo gran parte de mis conocimientos.

¡Gracias a todos!

RESUMEN

La producción convencional de papa en Cuba no es sostenible por los fertilizantes químicos y pesticidas que demanda. Los conocimientos sobre el comportamiento de variedades de *Solanum tuberosum* L. cultivadas en Cuba, con manejo agroecológico de la fertilización aún son insuficientes, y constituyen un problema a resolver. Por ello se propone como objetivo, determinar el comportamiento varietal de *Solanum tuberosum* L. con manejo agroecológico de la fertilización, basada en abono con biochar y microorganismos eficientes nativos. Se realizaron experimentos en áreas de la Estación Experimental Indio Hatuey, sobre un suelo de tipo genético Ferralítico Rojo. Se evaluó la calidad del suelo en áreas con manejo agroecológico vs manejo convencional; y el comportamiento de 11 cultivares con manejo agroecológica de la fertilización. El paquete estadístico utilizado fue Infostat 2008. El potencial redox alcanzó el valor más alto con manejo agroecológico (650 mV vs 391 mV). La mejor respuesta fue en el cultivar Manito (33.23 µg/cm², 29.17 % y 1.17 % de clorofila, nitrógeno relativo y flavonoles). Las variables morfológicas mostraron mejores características en los cultivares Loane, Manito, Spunta, Metro y Naima; dígase, hasta 70.41 cm de altura, 1,44 cm de grosor del tallo y 5 ramas a los 45 días, y 1 kg por planta de tubérculos. Se estimó que el manejo agroecológico representa 1/3 del costo de fertilización mineral; lo cual implicaría un ahorro de 20% de los costos. Se definió el comportamiento varietal de la papa con cultivo agroecológico. Se conoció el efecto de la fertilización con abonos basados en biochar en la respuesta morfofisiológica y de producción por plantas. Se demostró la existencia de relaciones significativas entre el crecimiento de las plantas y el potencial redox en el suelo.

ABSTRAC

Conventional potato production in Cuba is not sustainable due to the chemical fertilizers and pesticides it requires. Knowledge about the behavior of varieties of *Solanum tuberosum* L. grown in Cuba, with agro-ecological management of fertilization is still insufficient, and constitutes a problem to be solved. Therefore, the objective is proposed to determine the varietal behavior of *Solanum tuberosum* L. with agro-ecological management of fertilization, based on fertilizer with biochar and efficient

native microorganism. Experiments were carried out in areas of the Indio Hatuey Experimental Station, on type soil genetic "Ferralítico Rojo". Soil quality was evaluated in areas with agroecological management vs. conventional management; and the behavior of 11 cultivars with agroecological fertilization management. The statistical program used was Infostat 2008. The redox was better with agro-ecological management (650 mV vs 391 mV). The best response was in the cultivar Manitof (33.23 µg/cm², 29.17 % and 1.17 % of chlorophyll, relative nitrogen and flavonols). The morphological variables showed better characteristics in the Loane, Manitof, Spunta, Metro and Naima cultivars (up to 70.41 cm in height, 1.44 cm in stem thickness and 5 branches at 45 days, and 1 kg per plant of tubers). It was estimated that agroecological management represents 1/3 of the cost of mineral fertilization; which would imply a saving of 20% of costs. The varietal behavior of potatoes with agroecological cultivation was defined. The effect of fertilization with biochar-based fertilizers on the morpho – physiological and production response of plants was known. The existence of significant relationships between plant growth and redox potential in the soil was demonstrated.

INDICE	Pág.
1.INTRODUCCIÓN	1
Problema de investigación	2
Hipótesis	2
Objetivos General	2
Objetivos específicos	2
2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Clasificación taxonómica del cultivo	3
2.2. Descripción botánica del cultivo	4
2.3. Exigencias ecológicas	6
2.4. Requerimientos agrotécnicos del cultivo de la papa	9
2.5. Atenciones culturales con enfoque agroecológico	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Ubicación geográfica	14
3.2. Características edafoclimáticas	14
3.3 Tratamiento y diseño experimental	15
3.4. Descripción de los experimentos	15
3.5. Características generales del cultivo	16
3.6. Evaluaciones y determinaciones	17
3.7. Análisis estadístico	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
VALORACIÓN ECONÓMICA	27
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS	37

1. INTRODUCCIÓN

La papa *Solanum tuberosum* L. es una de las especies más importantes en la alimentación humana, adaptada a un gran número de ambientes. El género *Solanum*, engloba más de 2000 especies afines. Su centro de origen se ubica entre Perú y Bolivia, cerca del lago Titicaca.

El valor de la producción mundial de papa supera los 360 millones de toneladas (FAOSTAT, 2014) y ocupa el cuarto lugar en producción, después del trigo (*Triticum vulgare* Wuil.), el arroz (*Oryza sativa* L.) y el maíz (*Zea mays* L.).

La importancia de esta especie, radica en que sus tubérculos son parte de la dieta de millones de personas a nivel mundial, contiene 80% de agua, la materia seca constituida por carbohidratos, proteínas, celulosa, minerales, vitaminas A y C, además son utilizadas en la industria para la producción de almidón, comidas rápidas, y puré (Ríos, 2007). Por esa razón, su consumo ha ido creciendo, y su cultivo se ha expandido a todo el mundo hasta convertirse hoy día en uno de los principales alimentos para el ser humano.

Perú es el primer productor de papa en América Latina, con un volumen de 6 millones de toneladas reportadas en el año 2022; según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023) cubre ampliamente las necesidades de 33 millones de habitantes en el país.

La producción convencional de papa en Cuba no es sostenible por la cantidad de insumos, fertilizantes y pesticidas que demanda, lo cual elevan los costos, provocan contaminación en el aire y en el suelo (Díaz, 2016); por lo que se requiere implementar procesos de transformación, dirigidos hacia el empleo de alternativas de manejo agronómico que disminuyan la incidencia de enfermedades en las plantas, mejoren el estado fisiológico de la plantación y propicien un incremento de los rendimientos mediante productos amigables con el ambiente y que no eleven los costos.

En los últimos años la plantación de papa ha tomado un creciente auge por la introducción de los manejos agroecológicos del cultivo; el cual se integra a la

estrategia de la nación de fortalecen renglones productivos para satisfacer demandas locales (Prensa Latina, 2023).

Demostrar las bases científicas, los principios y procedimientos del cultivo agroecológico de la papa, sería una oportunidad para poner el conocimiento generado a disposición de la práctica social y contribuir de manera ostensible al autoabastecimiento local de alimentos, la diversidad agrícola y la recuperación de los suelos de la provincia de Matanzas.

Resulta vital, conocer las variedades que, de acuerdo con sus exigencias agronómicas, se ajustan mejor al manejo agroecológico, manteniendo altos índices de producción.

Problema de investigación

Insuficientes conocimientos sobre el comportamiento de variedades de *Solanum tuberosum* L. cultivadas en Cuba, con manejo agroecológico de la fertilización.

Hipótesis

Si las variedades de *Solanum tuberosum* L. cultivadas en Cuba, muestran una respuesta morfofisiológica significativa al abonado con compost, biochar y microorganismos eficientes nativos, entonces pudiera ser incorporadas al flujo de investigaciones sobre el cultivo agroecológico.

Objetivos General

Determinar el comportamiento varietal de *Solanum tuberosum* L. con manejo agroecológico de la fertilización, basada en abono con biochar y microorganismos eficientes nativos.

Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento morfofisiológico de las variedades.
- Determinar la calidad del suelo a través de potencial redox.
- Establecer relaciones de interdependencia entre la respuesta varietal del cultivo y la calidad del suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La producción nacional de alimentos constituye un aspecto estratégico para la economía cubana. Es significativo el potencial productivo no utilizado de este sector, lo que afecta su contribución a la seguridad y soberanía alimentaria del país. La política de sustitución de importaciones que el país promueve demanda una respuesta productiva mucho mayor. Si las potencialidades productivas fueran aprovechadas sería posible reducir la dependencia de importaciones de alimentos hasta un 60%. Por lo que la producción local agroecológica contribuye a la soberanía alimentaria del país y a la implementación del Plan Nacional de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional (SAN).

La producción de papa en Cuba se ha basado de forma tradicional en sistemas de producción de altos insumos que se traduce en un elevado uso de maquinaria y agroquímicos. Si bien se logra mantener la productividad agrícola durante años, se deteriora la calidad ambiental, ocasionando problemas de compactación, acidificación, salinización y erosión de los suelos (Martín *et al.*, 2021).

Para revertir esta situación, se debe buscar la sustitución de las fuentes inorgánicas por fertilizantes orgánicos, como compost, estiércol o biofertilizantes que conlleven a un incremento de la fertilidad del suelo a través de la mineralización de la materia orgánica, lo cual provoca una mayor actividad biológica y mejoras en las propiedades físicas del suelo.

2.1. Clasificación taxonómica

Clasificación taxonómica de *Solanum tuberosum* L., según (Robles, 2009)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Serie: Tuberos

Especie: *Solanum tuberosum* L.

2.2. Descripción botánica del cultivo

La papa *Solanum tuberosum* L. pertenece a la familia Solanaceae. De acuerdo con (Egúsquiza *et al.*, 2014), indica que la papa es una planta herbácea, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos. La planta de papa según las variedades presenta un crecimiento erecto o semierecto. Los tubérculos son tallos modificados y constituyen los órganos de reserva de la planta; varían en tamaño, forma, color de la piel y masa. Las yemas del tubérculo maduro permanecen latentes hasta que desarrollan un estolón de donde se origina una nueva planta. Las hojas son compuestas y la flor es bisexual. El fruto maduro es una baya generalmente de color verde oscuro y contiene las semillas, denominadas semillas gámicas, para diferenciarlas de la semilla agámica (Márquez y Salomón, 2019).

Raíz

Las plantas de papa forman una delicada raíz fibrosa, xomorfa con ramificaciones laterales, solo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido, pudiendo penetrar hasta 0,8 m de profundidad. Cuando esta crece de un tubérculo, carecen de radícula, forman raíces adventicias primero en la base de cada brote y luego encima de los nudos, en la parte subterránea de cada tallo (González, 2019).

Tallo

Presentan tres tipos de tallos, uno aéreo, sobre el cual se disponen las hojas compuestas y dos tipos de tallos subterráneos, los rizomas y los tubérculos.

Tallos aéreos

Se originan a partir de yemas presentes en el tubérculo utilizado como semilla, son herbáceos, suculentos y pueden alcanzar de 0,6 a 1,0 m de longitud; además, son de color verde, aunque excepcionalmente pueden presentar un color rojo purpúreo.

Rizomas

Estos tallos están formados por brotes laterales más o menos largos que nacen de la base del tallo aéreo. Emergen alternadamente desde sus nudos ubicados en los tallos aéreos y presentan un crecimiento horizontal bajo la superficie del suelo. Cada rizoma, en tanto, a través de un engrosamiento en su extremo distal, genera un tubérculo.

Tubérculo

Es uno de los tipos de tallo de la papa que es subterráneo y se halla engrosado como una adaptación para funcionar como órgano de almacenamiento de nutrientes. Pueden ser erectos o decumbentes, siendo lo normal que vayan inclinándose progresivamente hacia el suelo en la medida que avanza la madurez de la planta. Los entrenudos son alargados en la subespecie andígena y más bien cortos en la subespecie *tuberosum*. En la etapa final del desarrollo de las mismas, los tallos aéreos pueden tornarse relativamente leñosos en su parte basal.

Según (Egúsquiza, 2000), el tubérculo es el “fruto” agrícola producto del trabajo, dedicación, responsabilidad del agricultor y de las condiciones favorables del ambiente en el que ha crecido.

Hojas

Las hojas son compuestas, con 7 a 9 folíolos (imparipinnadas), de forma lanceolada y se disponen en forma espiralada en los tallos. Son bifaciales, presentan pelos o tricomas en su superficie, en grado variable dependiendo del cultivar considerado, son alternas al igual que los estolones; consisten en un pecíolo con folíolo terminal; folíolos laterales secundarios y a veces terciarios intersticiales.

Inflorescencia y flor

La inflorescencia nace en el extremo terminal del tallo y el número de flores en cada una puede ir desde una hasta 30, siendo lo más usual entre 7 y 15. El número de inflorescencias por planta y el número de flores por inflorescencia están altamente influenciados por el cultivar (González, 2019).

Aproximadamente en el momento en que la primera flor está expandida, un nuevo tallo desarrolla en la axila de la hoja proximal, el cual producirá una segunda inflorescencia. Las flores tienen de tres a cuatro cm de diámetro, con cinco pétalos unidos por sus bordes que le dan a la corola la forma de una estrella.

Según (Egúsqiza, 2000), las flores tienen la corola rotácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc.

Requerimientos edafoclimáticos de la especie *Solanum tuberosum*.

Previamente al establecimiento del cultivo es necesario conocer los requerimientos edafoclimáticos, ya que con ellos se podrá elegir la variedad que mejor se adapte a las condiciones particulares del lugar en que se desea cultivar (Molina y Zamora, 2004).

2.3. Exigencias ecológicas

Altitud

El cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 msnm hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 msnm a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa.

Relieve

La pendiente tiene una relación muy estrecha con la retención y captación de agua, además de la profundidad del suelo y acceso de maquinaria. Para una buena productividad del cultivo se recomienda una pendiente de 0.0 % a 4.0 %, pendientes mayores a 4.1 % ocasionan que disminuya la producción del tubérculo. Una manera de manejar las fuertes pendientes es mediante el surcado en curvas a nivel o mediante terrazas.

Clima

Duración del día

Después de la brotación de las semillas, el cultivo requiere bastante luminosidad. Además, la luminosidad que reciben las plantas durante el día afecta directamente en los procesos fotosintéticos, dando origen a una serie de reacciones secundarias entre las que intervienen agua y CO₂, los cuales ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares, que a su vez forman parte de los tubérculos. La cantidad de luz necesaria varía según la temperatura, por lo que, para una óptima producción, la papa requiere de periodos aproximadamente de 8 hs a 12 hs e incluso 16 horas de luminosidad (20,000 Lux a 50,000 Lux) según la variedad cultivada. La cantidad de luz tiene gran influencia en la tuberización de la papa y duración del crecimiento vegetativo. Días cortos favorecen el inicio de la tuberización y acortan el ciclo vegetativo, en cambio días largos tienen el efecto inverso. Un fotoperiodo corto restringe el crecimiento vegetativo, pero se acumula mayor cantidad de carbohidratos que inducen a una mayor producción de tubérculos.

Precipitaciones

La disponibilidad de agua en el suelo, influye directamente en el crecimiento, fotosíntesis y absorción de nutrientes. Si existe poca disponibilidad de humedad en el suelo provoca clorosis y marchitamiento, por consiguiente, disminución en el rendimiento, un exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades, un rango óptimo de humedad del suelo es cuando éste se mantiene en un 60% a 80 % de la capacidad de campo, principalmente en la etapa de formación de tubérculos.

Las mayores demandas existen en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos secundarios en los períodos más críticos del cultivo, en ausencia de precipitaciones.

Temperatura

De manera general, el cultivo de la papa requiere temperaturas medias del aire entre 15 °C a 20 °C. Se adapta bien a temperaturas entre 18 °C a 25 °C. En el período de formación de tubérculos el rango óptimo es de 16 °C – 19 °C.

La alta significación de las condiciones de temperatura, reside en que la papa es una especie exigente de bajas temperaturas en la etapa fenológica de tuberización.

Viento

Éste debe ser moderado, ya que las plantas no resisten vientos con velocidades mayores de 20 Km/hora, sin que éstos causen daños o influyan en los rendimientos. La dirección del viento incide en el nivel de afectaciones por plagas y enfermedades (INTAGRI, 2017).

Según (Araujo *et al.*, 2021), los aerosoles bacterianos, que se producen mayormente durante las labores culturales, son transportados por el viento, siendo una forma de propagación de plagas dentro de los campos.

Suelo

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos ligeros, con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos (INTAGRI, 2017).

Los mejores suelos para el cultivo de *S. tuberosum* son los francos, francos arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, de textura liviana, con buen drenaje y con una profundidad efectiva mayor de 0.50 m, que permitan el libre crecimiento de los estolones y tubérculos y faciliten la cosecha. El pH óptimo del suelo es de 5.5 a 6.

Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de la papa. Es recomendable tener suelos con una densidad aparente de 1.20 g/cm³, contenido de materia orgánica mayor a 3.5 % y una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m.

2.4. Requerimientos agrotécnicos del cultivo de la papa

Preparación de suelo

La preparación del terreno debe hacerse con la mayor anticipación posible a la siembra, con la finalidad de favorecer la descomposición de los residuos de la cosecha anterior e inducir la germinación anticipada de las malezas, para su buen control al momento de la siembra. Estas prácticas varían de acuerdo con las condiciones topográficas del terreno se requiere de un suelo profundo mayor de 30 cm (Molina *et al.*, 2004).

Abonamiento en la preparación del terreno se debe realizar durante el arado, en una cantidad de 5 t/ha. Esto mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo que facilitan la acción de los fertilizantes químicos. El abono orgánico (estiércol de animales, restos de cosechas) debe estar bien descompuesto para su aplicación (Araujo *et al.*, 2021).

Selección de la semilla

La selección de semilla es muy importante para obtener buenos rendimientos, una brotación uniforme, descartar tubérculos infectados con plagas y/o enfermedades. La propagación más generalizada es por tubérculos de 40 grs a 60 grs de peso, empleándose de 1 333 a 2000 kg de semilla - tubérculo por hectárea.

El criterio de selección debe basarse en tres puntos importantes:

Tamaño

La semilla ideal debe pensar entre 80 y 100 gramos, semillas inferiores a este peso originaran plantas débiles.

Sanidad

El cultivo es afectado por numerosos organismos que, en determinadas condiciones, causan daño económico, la semilla no debe presentar daños mecánicos recientes, pudriciones o larvas de insectos. Los patógenos de la papa afectan el rendimiento y la calidad de las cosechas, causan pudriciones o malformación y afectan la apariencia comercial y calidad culinaria de los tubérculos (Acuña *et al.*, 2023).

Plantación

La plantación se realiza entre los meses de septiembre y octubre, se deben utilizar tubérculos seleccionados y se plantan a una distancia de 0,30 cm entre planta y 0,90 cm entre surco (Uribe, 2013). El terreno destinado a la siembra debe ser bien trabajado mediante araduras, rastras cruzadas y si fuera posible añadirle materia orgánica (Araujo *et al.*, 2021).

Fertilización

Es necesario un balanceado suministro de los nutrientes a la planta, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno, ya que cumplen funciones específicas para el adecuado crecimiento de la planta. La falta de algún nutriente origina un retraso del crecimiento y disminución del rendimiento.

Según Pumisacho y Sherwold. (2002) expresan que la extracción de nutrientes del suelo por el cultivo de la papa depende de la variedad, fertilidad del suelo, condiciones climáticas, rendimiento y manejo del cultivo.

Tanto el exceso como la deficiencia de nitrógeno afectan la duración del ciclo del cultivo de papa y en consecuencia el rendimiento de tubérculos. La elevada disponibilidad de nitrógeno aplicado artificialmente con un método químico, puede prolongar el crecimiento vegetativo, retrasar el inicio de tuberización y reducir el rendimiento y el porcentaje de materia seca de los tubérculos (Giletto *et al.*, 2023).

El potasio (K) y fósforo (P) son elementos claves para aumentar la producción y calidad del tubérculo. El fosforo es importante para el desarrollo precoz de raíces y brotes, proporcionando energía para procesos como absorción y transporte de iones. Un suministro adecuado de fosforo asegura que se formaran una cantidad optima de tubérculos.

El magnesio es un activador de muchas enzimas esenciales en la fotosíntesis y respiración, además, activan enzimas reguladoras, particularmente la piruvato quinesa y las fosfofructoquinasas, necesario para formar almidón y proteínas (Mohrt, 2012), en papa el potasio juega un papel importante en el desarrollo y llenado de los tubérculos.

La mayor demanda nutricional del cultivo de papa se presenta a partir de los 50 días, cuando inicia la tuberización y crecimiento del follaje.

Riego

Se debe tener en cuenta que este cultivo presenta la mayor demanda hídrica entre la semana 7 (1, 5 meses) de cultivo hasta la semana 16 (3,5 meses). Riegos deficitarios en esta etapa de cultivo repercuten directamente en los rendimientos finales. Si bien, las mayores exigencias hídricas coinciden con las precipitaciones que se presentan entre diciembre y febrero, no se debe descuidar el aporte hídrico, sobre todo en años que las precipitaciones son escasas.

Se recomienda realizar riegos con una frecuencia de entre 7 y 10 días como máximo (Uribe *et al.*, 2013).

Aporque

Consiste en acumular la tierra en la base de la planta. Tiene como función eliminar las malezas, dar aireación a la planta, cubrir los estolones de forma definitiva, mejorar su sostén y producción de tubérculos. Es importante realizar un aporque cruzado para evitar la formación de espacios en la base de la planta donde se pueden alojar insectos. Esta labor se realiza hasta los 90 días después de la siembra (Araujo *et al.*, 2021).

Control fitosanitario

El cultivo de la papa es afectado por diferentes plagas y enfermedades a partir de la siembra hasta la cosecha y posterior a la cosecha (Morales, 2007).

Numerosos organismos que en determinadas condiciones causan daños económicos. Los patógenos de la papa afectan el rendimiento y la calidad de las cosechas y son insectos, hongos, bacterias, nematodos y virus los cuales dañan hojas, tallos o tubérculos; alteran el crecimiento de las plantas; causan pudriciones o malformación y afectan la apariencia comercial y calidad culinaria de los tubérculos.

Esta práctica plantea técnicas con dos objetivos

Prevenir la aparición de plagas y enfermedades que atacan al cultivo de papa, detectando de forma oportuna la aparición o incidencia de plagas y enfermedades, mediante acciones culturales.

Se recomienda el uso de variedades resistentes a las enfermedades.

Aplicar métodos de control, priorizando el control biológico, como alternativas al uso de productos químicos.

En la época de floración, se debe tener más cuidado debido a que el cultivo presenta mayor cantidad de follaje y se crea un microclima húmedo que favorece el desarrollo de la enfermedad.

Para su control y prevención, los productores priorizan el uso de controles químicos, ya sea para prevenir la aparición de plagas o vegetación, que perjudican al cultivo, o controlarlas.

Sin embargo, esta práctica dominante tiene algunos impactos:

Al ingresar a la cadena trófica, estos contaminantes también crean riesgos para la seguridad alimentaria, los recursos hídricos, los medios de vida rurales y la salud humana.

La aplicación de agroquímicos reduce la presencia de invertebrados, microorganismos e insectos, responsables de la descomposición del suelo y el ciclo de nutrientes. Entre ellos, las bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos micorrizales, lombrices y termitas (Araujo *et al.*, 2021).

Cosecha

Este estado del cultivo se define por los días del ciclo vegetativo de la variedad sembrada (precoz, intermedia o tardía) o bien cuando el follaje comienza a volverse amarillo en forma generalizada y las hojas comienzan a caerse de manera natural. Es conveniente cortar el follaje unos 10 días antes de la cosecha, para que la piel de los tubérculos se vuelva más fuerte, y acelera su madurez. Esta práctica favorece la acumulación de materia seca, condición importante en la calidad del producto, y control de la polilla de la papa y cualquier daño físico o la pérdida de humedad.

Es conveniente cosechar con cuidado para evitar heridas sobre la superficie de las papas, porque se convierten en la principal vía de entrada de múltiples enfermedades. Los tubérculos deben dejarse extendidos en el suelo expuestos al sol por un periodo de 2 horas para que se aireen y se sequen bien, lo que ayuda a terminar de suberizar la piel del tubérculo, al frotarse con las manos no debe desprenderse, esto contribuye a evitar daños durante la manipulación, transporte y almacenamiento, también facilita el desprendimiento de la tierra adherida.

2.5. Atenciones culturales con enfoque agroecológico

Fertilización del cultivo

Para lograr la mejora de la nutrición del cultivo se deben utilizar fertilizantes orgánicos y materia orgánica enriquecida con biochar y microorganismos eficientes nativos a razón de 3 t/ha a 10 t/ha, así como la aplicación foliar de IHPLUS BF® y otros bioestimulantes de producción nacional. Otro aspecto a tener en cuenta sería el uso de abonos verdes como frijol terciopelo, canavalia, vignas y crotalaria. Como norma general dos meses antes de sembrar la papa se deben sembrar estas plantas, para con posterioridad incorporarlos al suelo según las exigencias de cada uno de ellos.

Riego

Se debe realizar un riego profundo tres días antes de la plantación. Después se aplica el riego por aspersión, goteo o superficial según la norma. En tanto, la regulación, frecuencia y norma adecuada de riego, tienen incidencia en la protección del cultivo, pues, en correspondencia con el tipo de suelo, los tres primeros después de la plantación, deben ser cada 5 días a una norma de 150 m³ /ha, para evitar pudriciones de la semilla por exceso de humedad; cuando el campo ha logrado la total brotación es importante mantener la humedad en el suelo. Esta planta no puede sufrir estrés hídrico, cerca de la cosecha; los riegos deben ser cada 7 a 10 días de 250-150 m³ /ha, y evitar encharcamientos; de esta forma se evitan las pudriciones por causa bacterianas, fundamentalmente.

Control fitosanitario

Los aspectos fundamentales para el manejo fitosanitario, lo constituyen el manejo de la fertilización orgánica y biológica, se mencionan de manera general, las siguientes acciones preventivas a tener en cuenta desde el punto de vista fitosanitario en el cultivo de la papa.

- Correcta preparación y nivelación de suelo.
- Respetar la fecha óptima para plantar.
- Evitar colindancias entre áreas con diferencias marcadas de la fenología de las plantas de papa, y con otras especies hospedantes de plagas comunes a las de la papa.
- Uso de variedades tolerantes o resistentes a plagas.
- Uso de semillas de calidad (certificadas).
- Adecuada nutrición.
- Manejo eficiente del riego y el drenaje, para incidir en la regulación de los microorganismos patógenos.
- Una adecuada rotación de cultivos.
- Las aplicaciones de productos nunca se realizan cuando el follaje de la planta se encuentra mojado, ni cuando no exista la humedad adecuada en el suelo, es decir, nunca antes del riego.
- Establecer barreras vivas.
- Uso de trampas de colores.
- Solo cuando se alcance el índice de señal (más de 10 individuos por hoja), o se sobrepase el umbral económico, entonces con la autorización de Sanidad Vegetal Estatal, aplicar plaguicida químico en última instancia, si se compromete la producción (Araujo *et al.*, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Se realizaron dos experimentos en áreas de la Estación Experimental Indio Hatuey, ubicada entre los 22°, 48' y 7" de latitud norte, y los 81° y 2' de longitud oeste, a 19,9 m-s n m; en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

3.2. Características edafoclimáticas

El suelo se corresponde con el tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, según los criterios de (Hernández *et al.*, 2019), y con la clasificación Nitisol Ferralítico Ródico, Lítico, Eutrico, según FAO (2014). La topografía es llana, con pendiente de 0,5 % a 1,0 % y la profundidad promedio hasta la roca caliza es de 1,50 m.

3.3 Tratamiento y diseño experimental

Experimento 1. Evaluación comparativa de suelos con manejo contrastante

Se evaluó la calidad del suelo en dos áreas colindantes; una con manejo agroecológico y otra con manejo convencional.

Experimento 2. Comportamiento varietal de la papa con cultivo agroecológico

Se evaluaron 11 variedades introducidas en Cuba promisorias en condiciones de manejo convencional.

Diseño: en bloques al azar con 3 repeticiones

3.4. Descripción de los experimentos

El marco de plantación fue de 0,30m x 0,90m, con una densidad 37 037 plantas/ha. Las parcelas experimentales se conformaron a razón de 35.64m² (5.4 m ancho x 6.6 m largo; con 6 surcos) y 132 plantas por parcelas, distribuidas a 22 plantas por surco. La separación entre las parcelas fue de 1.80m (longitudinal y transversal).

En el área de cálculo se utilizaron 48 plantas ubicadas hacia el centro de las parcelas que corresponden a 14,4 m².

3.5. Características generales del cultivo

El manejo del cultivo se realizó siguiendo las instrucciones técnicas para la producción ecológica (Araujo *et al*, 2021). Algunos aspectos se mencionan a continuación:

- Preparación convencional del suelo y aplicación de abono en el fondo del surco, a razón de compost enriquecido con IHPLUS® BF (10t/ha) mezclado con biochar (3ton/ha).
- Plantación o siembra: La plantación se realizó en surcos separados a 90 cm de camellón, a una profundidad de siembra de 10 cm. Posteriormente se tapó conformando el cantero con tracción animal o con maquinaria.
- La conformación del cantero en la altura y plato, debe lograr una estructura de no más de 20 cm de alto y un plato de 30 cm, donde se conforme con el cultivo un cantero final, para el normal desarrollo de las plantas.
- Inoculación de las semillas: Se colocaron en un tanque de 200 L, con 20 L de IHPLUS BF®, 20 kg de EcoMic ® y 25 mL de BIOBRAS-16®. Después se completó el tanque con agua no tratada con cloro. Se sumergió el saco durante 10 minutos en esa solución y se puso a orear sobre una manta a la sombra y se siembra de forma manual o mecanizada.
- Barreras vivas: Se establecieron barreras vivas con doble surco de sorgo forrajero o maíz cada 50 m de ancho.
- Atenciones culturales: Se realizaron labores de riego, cultivo, control de malezas y la aplicación de bioproductos según el ciclo de cultivo.
- Riego del cultivo: Se realizó un riego profundo tres días antes de la plantación. Después se aplicó el riego por aspersión según la norma cada 5 días. Cuando el campo alcanzó la brotación total, se establecieron riegos cada 10 días de 250-150 m³ /ha.
- Control de malezas o arvenses: se realizó el control manual de plantas arvenses y dos labores de cultivo mecanizado para la mejor conformación del cantero. Entre las arvenses (malezas), se encontraban: las de hoja estrecha (don carlos, cebolleta, pata de gallina, zancaraña, hierba fina, canutillo, arrocillo, gambutera, don juan de castilla y guizazo) y las de hoja ancha (bledo, verdolaga, escoba

amarga, lechosa, cardo santo, romerillo, verdolaga de costa, hierba mora, huevo de gato y vinagrillo).

- Productos biológicos utilizados y dosis a aplicar: Se utilizó el producto IHPLUS® BF, acompañando el riego cada 10 días, a razón de 20 L / ha, disuelto al 6%. Para la aplicación se consideraron las fases fenológicas del cultivo. Después de la fecha de plantación, entre 1 y 18 días, emergencia y brotación; de los 19 a 30 días, crecimiento vegetativo; a partir de los 31 a 40 días, inicio de la tuberización; desde los 41 a 55 días, floración y tuberización; y por último entre los 56 y 90 días, maduración y senescencia; para finalmente realizar la cosecha.

Evaluaciones y determinaciones

Para la evaluación comparativa de la calidad del suelo, se escogieron 5 puntos fijos del área, en forma de bandera inglesa, a la profundidad de muestreo de 30 cm.

- Se realizaron mediciones in situ con sensores portátiles de pH, temperatura del suelo y potencial redox. Para ajustar el potencial redox a pH 7 [Eh(pH7)] (mV), se empleó la ecuación: $Eh(pH7) = Eh + (225,84 - (0,7282 \times \text{temperatura del sustrato})) - 59 \times (7 - pH)$; recomendada por (Husson et al., 2016).
- Dichos sensores consisten en pH-metro digital con una precisión de + 0.05 ExStik® de EXTECH, sensor de temperatura GREISINGER, Typ K (NiCr-Ni), sensor de potencial redox (ORP METER Model: YK-23RP, LUTRON ELECTRONIC).
- Las evaluaciones fisiológicas y morfológicas se realizaron a los 45 días y las de producción por planta a los 90 días, coincidiendo con la etapa de cosecha.
- Indicadores morfológicos de las plantas: se midió con la ayuda del pie de Rey y la regla milimetrada, la altura apical (cm), el número y el grosor de un tallo por planta (cm).
- Indicadores fisiológicos de las plantas: se midió en el haz de las hojas, el contenido de clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), los flavonoles y antocianinas (absorbancia relativa) y el contenido relativo de nitrógeno (NBI®). Se utilizó para ello, el sensor de clip de hojas Dualex, diseñado para estudios de estrés abiótico. Se tomarán muestras de 48 plantas (área de cálculo) y se seleccionaron la

hoja abierta y sana ubicada en el punto más alto de la zona apical, en un punto medio y en la posición más baja de la planta.

3.7. Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de Shapiro Wilk; y la homogeneidad de varianza utilizando la prueba de Levene. Posteriormente se efectuaron los análisis de varianza ANOVA. La comparación de medias se realizó a través de la prueba de comparación múltiple de Duncan (1955) a $P \leq 0,05$.

Se establecieron correlaciones entre los indicadores morfofisiológico y el potencial redox del suelo. Se consideraron los criterios de Guerra (1986) sobre el nivel de significación, la varianza residual $V(e)$, y el análisis de los residuos (e_i).

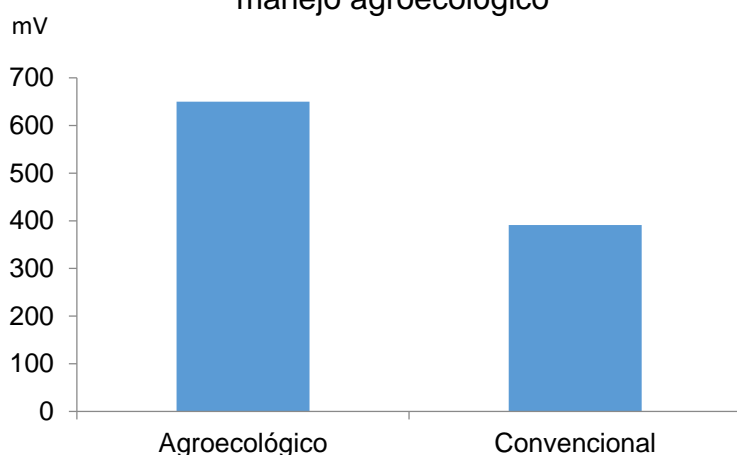
El paquete estadístico empleado fue Infostat 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El potencial redox alcanzó el valor absoluto más alto en la condición de manejo agroecológico (figura 1). Este indicador de la capacidad reductora/oxidante del suelo, es poco usado en las investigaciones agronómicas; sin embargo, aporta de manera notable al entendimiento de la respuesta de los cultivos, de la microbiota edáfica y de los procesos físicos y químicos que ocurren en la rizosfera.

Las condiciones de óxido-reducción son de vital importancia en los procesos de meteorización o alteración de los minerales del suelo y las rocas de las que proceden; afectan su fertilidad al condicionar la biodisponibilidad de varios elementos nutritivos indispensables para el desarrollo de las plantas, vía modificación del pH (Weldon *et al*, 2019).

Figura 1. Potencial redox del suelo por efecto del manejo agroecológico



Sobre este indicador, Husson (2012) planteó en que los suelos con tendencia a la inundación tienen una Eh por debajo de +350 a +250 mV y los suelos con buen drenaje por encima de +380 mV. Los suelos cultivados están más frecuentemente en el rango de +300 y +500 mV en condiciones aeróbicas; y los valores óptimos oscilan alrededor de 450 mV.

Dichos criterios reafirman los resultados obtenidos en el presente estudio, a favor de un mayor crecimiento en altura de las plantas y emisión de tallos en los sitios con

mayor potencial redox; lo cual puede justificarse por la aplicación de abonos orgánicos y bioproductos.

Además, influencia positiva de los abonos orgánicos, está determinada, entre otros aspectos, por la abundancia de sustancias nitrogenadas, vitaminas, ácidos orgánicos, quelatos y sustancias antioxidantes, que contribuyen a la rápida descomposición de las macromoléculas (Sofo *et al.*, 2014 y Díaz, 2016).

Por su parte, el biochar adicionado al suelo ha sido asociado con una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, a la capacidad de retención de agua y sustancias nutritivas, y a la actividad de la microbiota edáfica (Larsen, 2018). En tal condición, las plantas disponen de los nutrientes almacenados previamente en la estructura del bioabono; el cual se caracteriza por una favorable capacidad de intercambio catiónico y potencial redox (Reyes *et al.*, 2016; Segura, 2018, Milera *et al.*, 2021).

El uso de biochar permite secuestrar a través de la biomasa pirolizada, cantidades sustanciales de carbono. En tal sentido, López (2018) demostró que este puede ser una enmienda al suelo muy estable, debido a su alto contenido de carbono recalcitrante. La fracción de carbono lábil puede estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, pero a largo plazo el biochar aumenta la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos mediante la adsorción y humificación (Zimmerman, 2011).

La comparación de variedades en cuanto a su comportamiento fisiológico (tabla 1) mostró mejor respuesta en el cultivar Manitof; con mayores contenidos de clorofila, índice relativo de nitrógeno y flavonoles. Le siguieron, sin diferencias significativas en algunos indicadores, Spunta, Daifla, Loane, Manitof, Naima y Metro. Ello indica que dichos cultivares tuvieron un mejor funcionamiento biológico en la condición de estudio, de manejo orgánico absoluto.

La concentración de clorofila en las hojas, el contenido relativo de nitrógeno, los flavonoles y antocianinas oscilaron en valores lógicos. Al respecto, la literatura consultada muestra algunos rangos de valores en distintas especies vegetales; por ejemplo, en distintas variedades de trigo: clorofila entre 34.52 y 40.89%, flavonoles entre 1.65 y 1.69 abs. rel., antocianinas entre 0.21 y 0.33, NBI® de 20.77 a 24.95

(Cabello, 2019) y (Cerovic *et al.*, 2012) reportaron en el propio cultivo, valores entre 30 y 60% de clorofila, NBI® de 10 a 25 y compuestos fenólicos entre 2 a 3 abs. rel. En estudios con acelga manejada con fertilización nitrogenada de 0 a 320 kg N/ha, (Rivacoba *et al.*, 2014) reportaron contenidos medios de clorofila entre 45 y 52 µg/cm² y NBI® de 28 a 38. En todos los casos, las determinaciones fueron realizadas como medida indirecta a través del sensor Dualex.

Tabla 1. Efecto varietal en los indicadores fisiológicos de las plantas				
Indicadores/ Variedades	Clorofila (µg/cm²)	NBI	Antocianina	Flavonol
			(Abs. Rel)	
Atlas	29.60cd	27.38abc	0.11e	1.13ab
Loane	30.49c	26.26bc	0.13bc	1.20a
Daifla	29.1d	25.87c	0.14a	1.17a
Manitof	33.23a	29.17a	0.13cd	1.17a
Spunta	32.67ab	28.70a	0.12d	1.19a
Metro	33.14a	29.80a	0.12d	1.13ab
Spectra	31.86b	27.68abc	0.13cd	1.18a
Farida	29.28cd	28.53ab	0.13cd	1.08b
Alouete	29.60cd	26.15bc	0.14ab	1.19a
Naima	32.18ab	28.50ab	0.13bc	1.17a
Perla	26.98e	27.57abc	0.14ab	1.03b
CV	11.59	23.39	17.72	17.53
P≤0.05	0.0001	0.0007	0.0001	0.0093

Los valores absolutos más altos alcanzados en el presente estudio pueden explicarse por las características del suelo.

Acerca del contenido de clorofila, cabe mencionar que este importante parámetro fisiológico se relaciona de manera positiva con la tasa fotosintética, con el contenido relativo de nitrógeno (Cabello, 2019), con el rendimiento agrícola y con la productividad de los cultivos (del Pozo *et al.*, 2016); en tanto que, el contenido relativo de nitrógeno se calcula habitualmente por determinación del $N-NO_3^-$ en la savia y por la medida de la clorofila, como una estimación indirecta del mismo.

Actualmente se utilizan los métodos de reflectancia y fluorescencia en regiones específicas del espectro para el diagnóstico del estado del nitrógeno en las plantas. El contenido relativo de nitrógeno NBI® se reconoce como un indicador directamente relacionado con el contenido de nitrógeno másico y es menos sensible a las variaciones de las condiciones ambientales que la clorofila (Cerovic *et al.*, 2012). Al respecto, (Rivacoba *et al.*, 2014) demostraron que el contenido relativo de nitrógeno (NBI®) detecta mejor las variaciones del contenido del nitrógeno total en hoja en condiciones de deficiencia de fertilización nitrogenada.

Por el método de reflectancia y fluorescencia se puede estimar también el metabolismo secundario de las plantas. Los metabolitos secundarios, especialmente los compuestos fenólicos, se incluyen entre los mecanismos moleculares de tolerancia a la insuficiente disponibilidad de nutrientes y agua (Negrão *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2019; Parr y Boldwell, 2000). Estos constituyen potentes antioxidantes y pueden contribuir a restablecer el estado redox celular (Zubair *et al.*, 2013; Jain *et al.*, 2015; Kendir y Köroğlu, 2015). Los flavonoides constituyen un grupo de polifenoles que incluye 6 clases principales: chalconas, flavonas, flavonoles, flavanoles, antocianinas y taninos condensados. Los flavonoles se sintetizan principalmente después de la exposición a la luz. Como consecuencia, son un buen indicador del historial de interacciones planta-luz (<https://www.force-a.com/products/dualex>). Las antocianinas están estrechamente relacionadas con la eliminación del oxígeno reactivo (EROs), constituyendo una forma de atenuar el impacto de estos radicales reactivos sobre los componentes celulares (Mervat y Dawood, 2014).

Debido a que los polifenoles juegan un rol importante como defensa cuando las plantas sufren estrés oxidativo a consecuencia de los factores ambientales como déficit o exceso de humedad, disponibilidad de nutrientes o salinidad en el suelo, las concentraciones de estos antioxidantes tienden a variar de un sitio a otro (Lattanzio, 2013), aumentando sus tenores como respuesta antioxidante estimulada por el estrés. Debido a ello, (Pérez *et al.*, 2016) observaron en plántulas de henequén (*Agave fourcroydes* cultivar 'Sac Ki'), que en condiciones de estrés hídrico disminuyeron los contenidos de clorofila; mientras aumentaron los fenoles solubles, terpenos, flavonoides y antocianinas. (Farías *et al.*, 2019) demostraron que, en condiciones de suelo con exceso de sales solubles, el contenido de flavonoides aumentó.

En el presente estudio, los polifenoles se mantuvieron en valores medios relativamente bajos; por debajo de 1,43 abs. rel.; indicando así que, de manera general, en el sitio de estudio no existieron factores de estrés oxidativo para el cultivo de papa.

Las variables morfológicas (tabla 2) mostraron mejores características en los cultivares Loane, Manitofo, Spunta, Metro y Naima; dicha respuesta confirma el nivel de adaptación de estas a la condición de manejo agroecológico en el entorno de trópico insular, que caracteriza el sitio de experimentación.

Al respecto, se reconoce en la literatura consultada, por ejemplo, que el cultivar Loane es especialmente adecuado para el clima mediterráneo; donde la temperatura es menos fría para la condición de clima templado y los suelos son sueltos con elevado contenido de calcio.

Cultivares reportados como potencialmente adecuados para las condiciones de estudio, no mostraron la respuesta esperada. En este caso puede citarse: Spectra, Naima y Perla; las que han sido referenciados por sus elevados rendimientos; Atlas, con buenos rendimientos reportados, incluso en condiciones adversas para el cultivo; Alouette, reconocido por sus buenos rendimientos y desarrollada para ampliar el segmento orgánico del consumo de papa.

Tabla 2. Efecto varietal en las variables morfológicas y de producción por planta				
Indicadores/ variedad	Altura de las plantas (cm)	Grosor tallo (cm)	# ramas	Rto (kg/planta)
	45 días			90 días
Atlas	55.55fg	1.24bc	3.78 (1.92c)	0.74cde
Loane	57.59ef	1.05ef	4.97 (2.19ab)	0.95abc
Daifla	68.06ab	1.12de	5.12 (2.23a)	0.85a-e
Manitof	62.17cd	1.07def	4.71 (2.14ab)	0.93abcd
Spunta	70.41a	1.44a	2.74 (1.62d)	1.00a
Metro	63.66c	1.15cde	3.91 (1.94c)	1.02a
Spectra	60.03de	1.04ef	3.80 (1.91c)	0.79bcde
Farida	53.17g	0.98f	2.71 (1.62d)	0.71e
Alouete	67.23b	1.16cd	4.19 (1.99c)	0.73de
Naima	57.71ef	1.28b	3.22 (1.76d)	0.97ab
Perla	54.92fg	0.80g	4.47 (2.06bc)	0.88a-e
CV	12.57	23.49	19.97	17.21
P≤0.05	0.0001	0.0001	0.0001	0.008

Las evaluaciones realizadas reafirman los resultados de (Pentón *et al.*, 2020) sobre el efecto de bioabono a base de biochar enriquecido con IHPLUS BF®, orina de vaca y compost para la producción de raíces y tubérculos como la yuca (*Manihot esculenta* Crantz.); en que, al aplicar los abonos con potencial redox Eh (pH7) de 374 mV y pH de 6,28 a 7,77, se observaron efectos positivos en las características de la rizósfera comparados con los tratamientos con fertilización química.

Según Iglesias *et al.* (2018), la aplicaron en maíz (*Zea mays*) fertilización orgánica a partir de biochar elaborado de biomasa residual leñosa, en el momento de la siembra al fondo del surco, en dosis de 5 t/ha, y encontraron características fenológicas de crecimiento (altura, índice de área foliar y grosor del tallo) comparables con el tratamiento de fertilización mineral.

Reyes (2018), obtuvo mayor crecimiento y desarrollo de la parte foliar y del tallo de *Acacia mangium* Willd en los tratamientos con presencia de biochar en comparación con la fertilización mineral. El autor planteó que una de las causas por las que el abono con biochar podría procurar aumento en la tasa de crecimiento y desarrollo es la cantidad de potasio que pone a disposición de las plantas, que resulta en una mayor capacidad de fotosíntesis, un aumento de asimilación en el floema y una mayor apertura estomática e incremento en carbono. Como consecuencia se incrementan los rendimientos agrícolas.

En la siembra de papa (*Solanum tuberosum*), (Mollick *et al.*, 2020), El-Metwaly (2020), Gupta *et al.* (2020), (Silva *et al.*, 2017), Bonanomi *et al.* (2017) y Youseef *et al.* (2017) probaron diferentes dosificaciones de biochar y su combinación con fertilizantes químicos, y obtuvieron incrementos en el rendimiento agrícola, en la altura de las plantas, el peso de los tubérculos y su contenido de materia seca. Los resultados de (Mollick *et al.*, 2020) se relacionaron con aumentos en el carbono orgánico en el suelo.

Los análisis de correlación entre los indicadores morfo fisiológicos y de las características del suelo, mostraron relaciones de interdependencia significativas, altas y positivas entre: el contenido de flavonoles, la altura apical y el grosor del tallo; y entre el número de tallos, la altura apical y el potencial redox (tabla 3).

Con respecto a la influencia del potencial redox sobre los indicadores productivos, cabe destacar que siendo la papa, un cultivo altamente dependiente de la fertilidad del suelo y particularmente de la disponibilidad de nitrógeno (MINAG, 2016), cuando el redox es superiores de 400mV y el pH es neutro, el balance del nitrógeno es más propicio a la producción de nitrato, y favorece la asimilación del nitrógeno,

promueve el mejor funcionamiento biológico y crecimiento de las plantas; con lo cual se garantiza una mayor producción agrícola.

Tabla 3. Matriz de correlaciones

	clorofila	NBI®	flavonoles	altura	grosor	tallos	Eh(pH 7)
clorofila	1.00	0.04	0.50	0.70	0.20	0.74	0.59
NBI®	0.89	1.00	0.13	0.28	0.02	0.96	0.98
flavonoles	-0.40	-0.76	1.00	0.08	0.05	0.72	0.62
altura apical	-0.24	-0.61	0.83	1.00	0.14	0.29	0.19
grosor del tallo	-0.69	-0.92	0.88	0.76	1.00	0.59	0.65
número de tallos	0.20	-0.03	0.22	0.60	0.33	1.00	0.01
Eh(pH7)	0.32	0.02	0.30	0.70	0.28	0.96	1.00

Nota: las celdas en blanco corresponden al coeficiente de correlación de Pearson; celdas sombreadas corresponden a probabilidades.

Al contrario, cuando disminuye el potencial redox y se desfavorece la relación C/NO_3^- , se crean las condiciones en el suelo más favorables para la reducción de nitrato a amonio (Rütting *et al.*, 2011). Ello ocurre principalmente cuando el 60% o más de los espacios porosos contienen agua debido a la baja infiltración del suelo y en tal condición de bajo potencial redox y pH alcalino, es probable que la nitrificación sea parcialmente interferida, limitando el nitrógeno disponible para las plantas (González, 2018).

VALORACIÓN ECONÓMICA

En el contexto de la agricultura tecnificada convencional, la papa es considerada como uno de los cultivos de más alta densidad económica. El gasto en fertilizantes representó hasta el 30 % del costo de producción; y es la razón por lo que el agricultor requiere información precisa sobre qué, cuánto, cuándo y cómo abonar, considerando factores de producción que son clima, suelo, cultivo y grado de tecnificación (Villagarcía, 2003). Además, debe considerarse la posibilidad de aprovechar los recursos del entorno para obtener y aplicar alternativas eficaces, más compatible con su economía familiar ó comunal, y con la necesidad de garantizar la sostenibilidad de la producción.

La producción de bioabono a partir de compost, IHPLUS® BF y biochar tiene un costo aproximado de 1 300 (cup) pesos por tonelada (Gertrudis Pentón, Comunicación personal).

Siendo el abonado a razón de 13 ton/ha, el costo sería 16 900 (cup) pesos por ha; lo cual representaría un 1/3 del costo por concepto de fertilización. Ello implicaría un ahorro para el productor de 20% de los costos.

Si a ello se une, que la producción agroecológica garantiza mayor inocuidad y calidad del tubérculo (Rodríguez, 2022), dicha tecnología representa una alternativa más económica que la producción convencional, por ser sostenible y eficaz.

La gran mayoría de los productores en Cuba, son pequeños productores, que utilizan extensiones de 1 ha, y cuya producción y rentabilidad se ven afectados por factores como: variedades de bajo potencial de rendimiento, susceptibilidad a enfermedades y plagas, poco uso de semillas de calidad y asistencia técnica; debido a la escasez de recursos económicos, a la falta de información oportuna de mercado y a un inequitativo acceso al recurso hídrico, suelos degradados por el uso indiscriminado de productos químicos. En consecuencia, el centro de investigación Indio Hatuey, ha desarrollado alternativas como asperjado de soluciones de microorganismos eficientes, abono basado en compost enriquecido con IHPLUS®BF y biochar; lo cual garantiza condiciones adecuadas de fitosanidad y una mejora en la calidad del suelo.

CONCLUSIONES

- Se definió el comportamiento varietal de la papa con cultivo agroecológico sobre un suelo característico de la llanura Habana-Matanzas.
- Se identificaron como variedades de mejor respuesta Loane, Maniuf, Spunta, Metro y Naima.
- Se conoció el efecto de la fertilización con abonos basados en biochar en la respuesta morfofisiológica y de producción por plantas.
- Se demostró la existencia de relaciones de interdependencia significativas, altas y positivas entre algunas características del crecimiento como el número de tallos y la altura de las plantas y el potencial redox [Eh(pH7)] en el suelo.

RECOMENDACIONES

- Validar los resultados obtenidos sobre las variedades identificadas con manejo agroecológico en escenarios productivos.
- Profundizar en futuros estudios con las variables identificadas en torno al tipo de fertilización, norma de fertilización y labores agrotécnicas.
- Evaluar el comportamiento morfofisiológico y de producción por planta de otras variedades introducidas en el país.
- Realizar actividades de extensionismo, capacitación a productores y decisores para validar y extender los resultados a la práctica productiva.
- Sugerir que la tesis sea utilizada como material de consulta por estudiantes de pregrado y posgrado, así como especialistas y técnicos encargados del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, I., Bravo, R., Castro, M., Tejeda, P., Sandoval, C. Manual interactivo de la papa INIA. 4 p., 2023.
- Araujo, A., Cartagena, Y., Castillo, C., Cuesta, X., Monteros, C., Paula, N., Racines, M., Rivadeneira, J., Velásquez, J. INAP Estación Experimental Santa Catalina Programa Nacional de Raíces y Tubérculos – papa Manual del cultivo de papa para pequeños productores tercera edición. 29 p., 2021.
- Bonanomi, G., Ippolito, F., Cesarano, G., Nanni, B., Lombardi, N., Rita, A., Scala, F. Biochar as plant growth promoter: better off alone or mixed with organic amendments? *Frontiers in Plant Science* 8, 1570. 2017.
- Cabello Cornejo, M.J. Caracterización morfo-anatómica de la hoja bandera de distintos genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Memoria de título presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile. Pp 52. 2019.
- Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ben Ghazlen, N., Latouche, G. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum*, ISSN 0031-9317. 2012.
- Del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I. A., Tapia, G., Castillo, D., Sanchez-Jardón, L., Araus, J.L. Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water stress in a Mediterranean environment. *Front. Plant Sci.* 987:1–13. 2016.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, Mónica G.; Gonzalez, Laura. A.; Tablada, M. & Robledo, C. W. InfoStat, versión 2008. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. 2008.
- Díaz, A. Lactofermentos. Guía técnica para su elaboración y aplicación en la producción agropecuaria. Cuba: FUNDASES. 2016.
- Egúsqiza, B. R., La papa: producción, transformación y comercialización. 27p., 2000.
- Egúsqiza, B.R., La papa en Perú. Oficina Académica de Extensión de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 84 p., 2014.

- El-Metwaly, H.M.B. Response of potato growth, yield and quality to fulvic acid and biochar applications under different levels of chemical fertilization. *Journal of Plant Production* 11(2), 145–151. 2020.
- Farías Tapia, R.; Olivas Sánchez, MP.; Flores Margez, JP.; Martínez Ruiz, NR. & Álvarez Parrilla, E. Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*. *Terra Latinoamericana* 37: 81-90. 2019.
- Gao, Y., R. Long, J. Kang, Z. Wang, T. Zhang, H. Sun, X. Li & Q. Yang. Comparative proteomic analysis reveals that antioxidant system and soluble sugar metabolism contribute to salt tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L) leaves. *J. Proteome. Res.* 18: 191-203. doi: 10.1021/acs.jproteome.8b00521. 2019.
- Giletto, C.M., Echeverria, He., Sadras, V., Fertilización nitrogenada de cultivares de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en el sudeste bonaerense. Unidad Integrada (UIB) Fac de Ciencias Agrarias (UNMP) – EEA INTA Balance, Ruta 226 km 73,5 (7620) CC 276. Balcarce, Argentina. 45 p., 2023.
- González, Mitza Macarena. Efecto del porcentaje de retención de agua en la degradación de urea en suelos con distinto contenido de carbono orgánico. Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de químico ambiental. Escuela de Pregrado – Facultad de Ciencias – Universidad de Chile. 58pp. 2018.
- González, S. P., García, D. R., Hernández, J. F. Cárdenas. Crecimiento y desarrollo inicial de semillas hortícolas sembradas en mezclas de suelo con biocarbón. *MAGISTRA*, vol. 30, p. 259-267., 2019.
- Guerra, J. Introducción al análisis estadístico para procesos. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 185 p., 1986.
- Gupta, R.K., Hussain, A., Sooch, S.S., Kang, J.S., Sharma, S., Dheri, G.S. Rice straw biochar improves soil fertility, growth and yield of rice–wheat system on a sandy loam soil. *Experimental Agriculture* 56(1), 118–131. 2020.

- Hernández, H. M., Forero, F. E., Antolines, D., Serrano, C., Pablo, A. Respuesta agroeconómica del cultivo de papa bajo diferentes fuentes de fósforo. *Ciencia y Agricultura*. Vol 9- No. 2., 2019.
- Husson, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil*. 362:389–417, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1429-7>. 2012.
- Husson, O., Husson, B., Brunet, A., Babre, D.; Alary, Karine, Sarthou, LP.; Charpentier, H.; Durand, M.; Benada, J.; Marc, H. Practical improvements in soil redox potential (Eh) measurement for characterisation of soil properties. Application for comparison of conventional and conservation agriculture cropping systems. *Analytica Chimica Acta* 906, 98-109. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/aca. 2016.
- Iglesias-Abad, S.; Alegre-Orihuela, J.; Salas-Macías, C. & Egüez-Moreno, J. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*. 9(1):25-32 DOI: <https://dx.doi.org/http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>. 2018.
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura., INTAGRI., Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de la papa. Serie hortalizas. Número, 10. Artículos técnicos de INTAGRI. México 3p., 2017.
- Jain A, Sinha P, Jain A, Vavilala S. Estimation of flavonoid content, polyphenolic content and antioxidant potential of different parts of *Abrus precatorius* (L.). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 7(8):157-163. 2015.
- Kendir G, Köroğlu A. In vitro antioxidant effect of the leaf and branch extracts of *Ribes* L. species in Turkey. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Research* 2(108): 1- 6. 2015.
- Larsen, Ronal W. Using biochar for cost-effective CO₂ sequestration in soils. In: Goswami D.Y., Zhao Y. (eds) *Proceeding of ISES World Congress 2007*

(Vol. I – Vol. V) Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75997-3_499. 2018.

- Lattanzio, V. Phenolic compounds: Introduction. pp. 15431580. In: K. G. Ramawat and J. M. Mérillon (Eds.). Natural products, Chapter: 50. Springer-Verlag. Berlin. 2013.
- López-Molina, J. Efectos del biochar, bokashi y compost en las dinámicas del carbono y nitrógeno en suelos con pH contrastados. Trabajo Fin de grado. Jaén, España: Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén. 2018.
- Márquez, V.Y., Salomón, D. J. L., Acosta, R. R., Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3 ½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700. Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum Tuberosum L.*). 3 p., 2019.
- Martín Martín, GJ.; Reyes Ocampo, F.; Medina Salas, R.; Pentón Fernández, Gertrudis; Díaz Solares, Maykelis; Alonso Amaro, O.; Sánchez Santana, Tania; Hernández Olivera, LA. (2021) Producción de papa (*Solanum tuberosum L.*) en fincas familiares en un contexto agroecológico. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. 31p. ISBN: 978-959-7138-46-4.
- Mervat, Sh.S., Dawood, M.G., Role of ascorbic acid and α tocopherol in alleviating salinity stress on flax plant (*Linum usitatissimum L.*). Journal of Stress Physiology & Biochemistry 10 (1): 93-111. 2014.
- Milera, Milagros de la C.; Pentón, Gertrudis; Schmidt, HP.; Machado, Hilda C.; Miranda, Taymer; Martín, GJ. et al. Manejo agroecológico de los sistemas agropecuarios. Usos del suelo con abonos y biochar. Editorial EEPF “Indio Hatuey” ISBN: 978-959-7138-41-9. 2021.
- Ministerio de la Agricultura., MINAG. Dirección de Agricultura. Instructivo Técnico para la Producción de papa en Cuba. La Habana. 62pp. 2016.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego., El Perú es primer productor de papa en América Latina y el sustento de más de 700 mil familias. 1p., 2023.

- Mohrt, R. M., Tomasiewicz, D. J., Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato. Canadian Journal of Plant Science. 2012.
- Molina, J. D., Santos, B. M., Guía de Manejo Integrado de Plagas. Guía MIP en el cultivo de la papa. 11 p., 2004.
- Mollick, M. O. A., Paul, A. K., Alam, I., & Sumon, M. M. Effect of Biochar on Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum*) Tuber. International Journal of Bio-resource and Stress Management 2020, 11(5), 445-450. [HTTPS://DOI.ORG/10.23910/1.2020.2140](https://doi.org/10.23910/1.2020.2140). 2020.
- Negrão, S.; Schmöckel, SM. & Tester, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Ann. Bot. 119: 1–11. doi: 10.1093/aob/mcw191. 2017.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, FAO. 2014.
- Parr, A. J. and G. P. Bolwell. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content and profile. J. Sci. Food Agric. 80: 985-1012. 2000.
- Pentón-Fernández, Gertrudis; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, Odelín; Brunet-Zulueta, J.; Hernández-Santovenia, Orilda & Schmidt, H.-P. Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos clones de *Manihot esculenta* Crantz. Pastos y Forrajes. 43 (2):159-168, 2020.
- Pérez Hernández, Y.; Sosa del Castillo, Maryla; Fuentes Alfonso, Leticia; Rubio Fontanill, Yasmery; Valdivia Ávila, Aymara L; Pérez Ramos, Jovana. Caracterización bioquímica e histológica de plantas aclimatizadas in vitro de *Agave fourcroydes* Lem. Biotecnología Vegetal Vol. 16, No. 4: 223 - 230 ISSN 2074-8647, RNPS: 2154. 2015.
- Prensa Latina. Papa agroecológica en busca de soberanía alimentaria en Cuba. 1p., 2023.
- Reyes-Moreno, G. Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biochar como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de *Acacia mangium* Willd. Tesis presentada como requisito parcial para optar

el título de: Doctor en Agroecología. Bogotá: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, 100p. 2018.

- Reyes-Pérez, J. J.; Luna-Murillo, R. A.; Reyes-Bermeo, Mariana del R.; Suárez-Fernández, G.; Ulloa-Méndez, Carmen I.; Rivero-Herrada, Marisol et al. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la col (Brassica oleracea L). Biotecnia. 18 (2):28-32, 2016.
- Ríos, M. G., Departamento de protección agrícola y forestal. Distribución y variedad de *Ralstonia Solanacearum* e.f. Smith, agente causal de marchitez bacteriana en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.), en tres departamentos del norte de Nicaragua (Estelí, Matagalpa y Jinotega). 1p., 2007.
- Rivacoba, L.; Vázquez, N.; Suso; ML. y Pardo; A. Estimación del contenido de nitrógeno en hojas de coliflor por métodos de transmitancia y reflectancia. Horticultura. Tecnología. Pp 24 – 29 www.horticom.com; www.interempresas.net D.L. B-25.481/99 / ISSN 1578-8881. 2014.
- Robles, A. Factores que limitan la productividad y rentabilidad del cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) [Tesis de Diploma]. [México]: Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. 88 p. 2009.
- Rodríguez, L., Pentón, G., Sánchez, M. J., Fernández, D. Efecto agroproductivo de un abono basado en compost con IHPLUS®BF y Biochar en el cultivo de la papa (*Solanum Tuberosum* L.). 304 p., 2022.
- Rütting, T., Boeckx, P., Müller, C., & Klemmedtsson, L. Assessment of the importance of dissimilatory nitrate reduction to ammonium for the terrestrial nitrogen cycle. Biogeosciences, 8(7), 1779-1791. 2011.
- Segura Chavarría, Diana. Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta. Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura. CARTAGO. 94 p., 2018.
- Silva, I.C., Fernandes L.A., Sampaio, C.R. Growth and production of common bean fertilized with biochar. Ciencia Rural 47(11), 1 – 8. 2017.

- Sofo, A.; Nuzzaci, M.; Vitti, A.; Tataranni, G. & Scopa, A. Control of biotic and abiotic stresses in cultivated plants by the use of biostimulant microorganisms. In: Improvement of crops in the era of climatic changes. Springer. 107-117, 2014.
- Uribe L. F., Calle Z. I., Gonzalez F. V. Manejo agronómico del cultivo de la papa para la precordillera de la comuna de Putre. INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 3 p., 2013.
- Uribe, F. L., Calle, I., González .H., Manejo agronómico del cultivo de la papa para la precordillera de la comuna de putre. 27p., 2013.
- Villagarcía, S., Cortez, R.M., Hurtado, G., El cultivo de la papa - La nutrición mineral y la fertilización de la papa. UNASAM – Huaraz – Ancash – Perú. 28p., 2003.
- Weldon, S.; Rasse, DP.; Budai, Alice; Tomic, O.; Dörsch, P. 2019. The effect of a biochar temperature series on denitrification: which biochar properties matter? Soil Biology and Biochemistry 135: 173 – 183. 2019
- Zimmerman, A. R.; Gao, B. & Ahn, M-Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. Soil Biol. Biochem. 43(6):1169-1179, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.005>. 2011.
- Zubair SM, Rasool N, Mansha A, Anjum F, Munawar I, Muhammad M, Muhammad S. Antioxidant, antibacterial, antifungal activities and phytochemical analysis of dagger (Yucca aloifolia) leaves extracts. Journal of Medicinal Plants Research 7 (6): 243-249. 2013

ANEXOS

Anexo 1. Evidencias de las atenciones prácticas



Anexo 2. Características de los tubérculos de las variedades evaluadas



V1



V3



V4



V5



V6



V9



V10



V11



V12