



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO

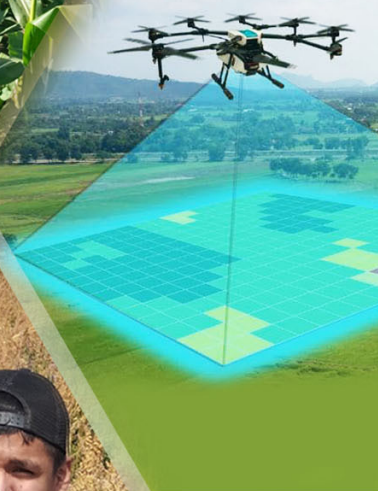


DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencia y Tecnología - UAJMS

IYARAKUAA

DUEÑO DEL CONOCIMIENTO

Facultad de Ingeniería de Recursos
Naturales y Tecnología



REVISTA CIENTÍFICA

IY

Numero

15

VOL. 05

(IMPRESO) ISSN: 2707 - 4064

(EN LINEA) ISSN-L: 2790 - 0797

Digital
ISSN - L: 2790 – 0797

Impreso
ISSN: 2707-4064

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

RECTOR: M. Sc. Lic. Eduardo Cortéz Baldiviezo

VICERRECTOR: M. Sc. Lic. Jaime Condori Ávila

DIRECTOR DICYT: M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

AUTORIDADES FACULTATIVAS F.I.R.N.Y.T.
Decano de la Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología

M. Sc. Lic. Jose Luis Narváez Flores

EDITOR:

M. Sc. Ing. Ronald Yeber Cruz Delgado

DIRECCIÓN:

Ph. D. Eysin Neri Artunduaga

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Arq. Daniela A. Cruz Castillo

Lizzy Leyla Baron Barrero

Abigail Quispe Rogellano

Nataniel Cristobal Aparicio López

SITIO WEB:

dicyt.uajms.edu.bo

Correo Electrónico:

Publicación semestral financiada por el proyecto "Fortalecimiento de la Difusión y Publicación de Revistas Científicas en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho"

CONSEJO EDITORIAL

Ph. D. Eysin Neri Artunduaga

DIAGRAMACIÓN

M. Sc. Ing. Ronald Yeber Cruz Delgado

Lizzy Leyla Baron Barrero

Abigail Quispe Rogellano

Nataniel Cristobal Aparicio López

INDICE

1. MEJORAMIENTO GENÉTICO DE VARIEDADES DE QUINUA TROPICAL MEDIANTE HIBRIDACIÓN CON VARIEDADES DE QUINUA REAL COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CHACO TARIJEÑO-YACUIBA.....	1
2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROTOTIPOS TERMO SOLARES PARA REDUCIR LA EVAPORACIÓN EN BEBEDEROS APÍCOLAS EN EL CHACO BOLIVIANO, YACUIBA.....	10
3. EVALUACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PARA EL CENTRO DE YACUIBA MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA Y TELEDETECCIÓN CON SIGS	23
4. FENOTIPADO DIGITAL Y CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE DIEZ LÍNEAS AVANZADAS DE QUINUA TROPICAL (CHENOPODIUM QUINOA WILLD) EN ALGARROBAL MUNICIPIO DE YACUIBA.....	36
5. IDENTIFICACIÓN DEL HONGO TRICHODERMA SPP EN TRES ECORREGIONES DEL MUNICIPIO DE YACUIBA.....	47
6. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEL FUNDO SAN FRANCISCO DEL INTI, MUNICIPIO DE YACUIBA	58

DEL CONSEJO EDITORIAL...

La revista científica (Dueño del conocimiento) con la edición de la Revista No 15. Es el resultado, el esfuerzo y la dedicación permanente organizada para apoyar e impulsar la investigación Científica y mejorar el conocimiento y la calidad investigativa en la Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Para desarrollar Ciencia se necesita de la Investigación Científica, esta se debería encontrar en la Universidad, es decir no basta con aprender sino hay que saber aplicar a otros contextos, no se trata de ser memoristas sino de comprender, hasta desarrollar competencias para emplear estas en otros escenarios, en otras palabras, lo importante no es lo que memorizó el alumno, sino cuanto puede aplicar en futuras experiencias vitales. Por ello, es importante que el estudiante se inserte en el camino de la ciencia con sus métodos y técnicas para recorrer los caminos de la investigación científica.

Este número reporta el interés y esfuerzo realizado por profesionales y docentes de las carreras de Ingeniería Agronómica e Ingeniería en Recursos Hídricos, con artículos dirigidos al desarrollo productivo y tecnológico, desde la experiencia profesional y docencia con la aplicación de la teoría a la práctica investigativa.

En torno a estos temas, la revista brinda un aporte al desarrollo de la ciencia a través de propuestas con enfoque teórico y epistemológico de la investigación, por un lado, y por otro también un enfoque práctico que se refiere a procedimientos que se abordan en cada uno de los artículos.

Estas razones permiten afirmar que la investigación en la educación superior está fundamentada en el “aprender a aprender”. Sin duda que la investigación se aprende investigando, en este sentido los procesos pedagógicos deben orientarse a que los estudiantes de desarrollen como futuros investigadores y ellos puedan reflexionar sobre sus experiencias de construcción del conocimiento científico.

Es importante destacar la participación de los profesionales y docentes investigadores cuyos artículos fueron aprobados por la edición de este número, los mismos plasman la capacidad, talento, voluntad y entusiasmo con que emprendieron un nuevo reto y compromiso con la educación superior y la búsqueda permanente de la verdad, partiendo del problema para llegar a las soluciones como resultado de la investigación.

LA CIENCIA EXPLICA EL MUNDO, LA TECNOLOGÍA, LO TRANSFORMA Y EL ARTE EXPRESA LA HABILIDAD DEL SER HUMANO PARA ACTUAR ACERTADAMENTE.

PRESENTACIÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería en
Recursos Naturales y Tecnología



La investigación científica es un proceso esencial que, sustentado en el método científico, busca adquirir, aplicar y crear conocimiento. El término "investigar" implica un compromiso sistemático para seguir pistas, encontrar, preguntar y sondear, con el propósito fundamental de incorporar nuevos saberes y develar lo desconocido.

En este contexto, tenemos la satisfacción de poner a su disposición la revista "IYARAKUAA" (Dueño del Conocimiento), en su edición número 15. Esta edición se centra en la temática de Medio Ambiente y los Recursos Naturales, e incluye una valiosa serie de artículos que abordan temas de relevancia local y nacional.

Esta revista es el resultado del trabajo conjunto de docentes y estudiantes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en la Facultad de Ingeniería en Recursos Naturales y Tecnología. Involucrando a las 4 carreras de Ingeniería: Agronómica, Informática, Recursos Hídricos y Sanitaria y Ambiental, ponemos a disposición de la población del Gran Chaco los conocimientos generados por nuestros docentes y estudiantes.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todos los escritores que han contribuido con su valioso conocimiento y esfuerzo en estas investigaciones. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los editores y al equipo que hace posible la difusión del conocimiento a través de esta revista. Su compromiso y dedicación son fundamentales para el éxito de nuestra publicación y el avance de la comunidad académica.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Narváez'.

M. Sc. Lic. José Luis Narváez
DECANO FIRNYT- UAJMS

Artículo de Investigación

Mejoramiento genético de variedades de quinua tropical mediante hibridación con variedades de quinua real como medida de adaptación al cambio climático en el Chaco Tarijeño-Yacuiba

Genetic improvement of tropical quinoa varieties through hybridization with royal quinoa varieties as a measure of adaptation to climate change in the Tarija-Yacuiba Chaco

Herbas Meneses José Gonzalo¹ ORCID: 0000-0001-8283-3150 ,
Orosco Ramallo German Eugenio² ORCID: 0009-0003-7933-3667 , Reyes Vaca Ivar Mario³ ORCID: 0009-0008-0351-8303 ,
Nuñez Villegas José⁴ ORCID: 0009-0004-0458-6763

^{1,2,3,4} Docentes Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y
Tecnología-Carrera de Ingeniería Agronómica
Correspondencia del autor principal (es): gonzalo.herbas1971@gmail.com

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo de alto valor nutricional y gran relevancia socioeconómica para las regiones andinas, reconocida por su resistencia a condiciones climáticas adversas y su adaptabilidad a diversos agroecosistemas. En este contexto, la quinua tropical ha emergido como una alternativa estratégica para zonas cálidas como el Chaco Tarijeño, donde la producción tradicional de quinua es limitada por temperaturas elevadas y estrés hídrico. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico y fenotípico de variedades de quinua tropical, real y características morfoagronómicas de diferentes cruza o hibridación espontánea intraespecífica, como base para un programa de mejoramiento genético adaptado al cambio climático.

Se aplicaron diferentes tratamientos, incluyendo los progenitores puros y cruzamientos entre variedades tropicales y reales. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluaron variables cuantitativas (altura de planta, días a floración, longitud de panoja, tamaño de grano, días a madurez fisiológica, número de plantas polinizadas y rendimiento) y cualitativas (color de tallo, tipo de panoja, color de grano y color de panoja). Los datos se analizaron mediante ANOVA y pruebas de Chi-cuadrado para las variables cualitativas.

Los resultados mostraron diferencias altamente significativas para las variables rendimiento, donde se destacaron las cruza verde trica 4 x precoz con 1424 kg/ha y 495 verde 2 x chulpi con 1398,15 kg/ha, por otro lado los días a floración y número de plantas polinizadas, destacando las cruza como

“Verde 2 x Chulpi” y “Verde Trica 4 x Precoz” con valores

superiores en precocidad y eficiencia reproductiva. En cuanto al color de tallo, color de panoja, forma de panoja y la asociación estadísticamente significativa entre genotipo y carácter indicó una amplia variabilidad fenotípica, especialmente en los cruzamientos, lo cual representa una ventaja para la selección futura.

Se concluye que los genotipos producto de las cruza presentan un comportamiento prometedor bajo condiciones del Chaco boliviano, evidenciando su utilidad para enfrentar el cambio climático mediante materiales más adaptados y productivos. Los resultados constituyen una base científica para futuros ciclos de selección y consolidación de variedades tropicales de quinua con alto valor agronómico.

PALABRAS CLAVE

Quinoa tropical, mejoramiento genético, adaptación climática, cruzamiento intervarietal, hibridación espontánea intraespecífica.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a crop of high nutritional value and significant socioeconomic relevance for the Andean regions. It is recognized for its resistance to adverse climatic conditions and its adaptability to various agroecosystems. In this context, tropical quinoa has emerged as a strategic alternative for warm regions such as the Chaco of Tarija, where traditional quinoa production is limited by high temperatures and water stress. This study aimed to evaluate the agronomic and phenotypic performance of tropical and real quinoa varieties, as well as the morphoagronomic characteristics of various intra-specific spontaneous crosses or hybridizations, as a basis for a genetic improvement program adapted to climate change.

Different treatments were applied, including pure parent lines and crosses between tropical and real varieties. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Quantitative variables (plant height, days to flowering, panicle length, grain size, days to physiological maturity, number of pollinated plants, and yield) and qualitative variables (stem color, panicle type, grain color, and panicle color) were evaluated. The data were analyzed using ANOVA and Chi-square tests for qualitative variables.

The results showed highly significant differences for yield, with outstanding performances by the crosses “Verde Trica 4 x Precoz” with 1,424 kg/ha and “495 Verde 2 x Chulpi” with 1,398.15 kg/ha. Additionally, days to flowering and the number of pollinated plants also stood out, especially for the crosses “Verde 2 x Chulpi” and “Verde Trica 4 x Precoz,” which showed superior earliness and reproductive efficiency. Regarding stem color, panicle color, panicle shape, and the statistically significant association between genotype and character, a wide phenotypic variability was observed, particularly in the hybrids, which represents an advantage for future selection.

It is concluded that the genotypes resulting from the crosses show promising performance under the conditions of the Bolivian Chaco, demonstrating their usefulness in addressing climate change through more adapted and productive materials. The results provide a scientific foundation for future selection cycles and the development of tropical quinoa varieties with high agronomic value.

KEYWORDS

Tropical quinoa, genetic improvement, climatic adaptation, intervarietal crossing, spontaneous intraspecific hybridization.

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie andina de alto valor nutricional y creciente relevancia global debido a su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas y su capacidad de desarrollarse en suelos marginales (Bazile et al., 2016). En Bolivia, se reconocen dos grandes grupos: la *quinua real*, cultivada principalmente en el Altiplano, caracterizada por granos de gran tamaño y alto contenido de saponina; y la *quinua tropical*, adaptada a condiciones cálidas y húmedas del trópico y subtrópico, aunque con granos más pequeños y menor rendimiento (Gandarillas et al., 2015).

Dicho cultivo estaba circunscrito en las zonas altiplánicas, contándose con variedades con características únicas dada las condiciones climáticas imperantes.

cultivos se incrementen significativamente y adquiera una importancia económica para el país y especialmente en los agricultores del altiplano.

La región tropical de Bolivia, especialmente el departamento de Santa Cruz, representa la mayor productora de alimentos, especialmente vinculada con la agroindustria, cuyos sistemas de producción se caracterizan por lograr dos cosechas con cultivos de verano e invierno. Considerando que la época de invierno presenta ausencia o irregulares periodos de lluvia y con bajas precipitaciones, por su rusticidad y tolerancia a la sequía, la quinua se visualiza como una alternativa de cultivo de rotación en invierno (Rojas et al, 2022).

La Universidad Mayor de San Simón el año 2010 inicia el “programa quinua”, donde uno de sus principales proyectos fue el desarrollo de variedades tropicales. Como resultado de este proyecto, desde el 2018 se inicia el cultivo comercial de quinua en Santa Cruz, con variedades generadas en el Centro de Biotecnología y Nanotecnología de la UMSS (Rojas et al, 2022).

En el contexto actual del cambio climático, los sistemas agrícolas del Chaco Tarijeño enfrentan desafíos crecientes, como el aumento de la temperatura, la irregularidad de las precipitaciones y la aparición de enfermedades como el mildiu (*Peronospora variabilis*) (Espinoza et al., 2017). Por ello, se hace urgente generar variedades de quinua tropical más resilientes, que conserven características deseables como el tamaño de grano, rendimiento y precocidad, pero que además sean capaces de resistir condiciones agroclimáticas variables.

El mejoramiento genético por hibridación entre variedades de diferente procedencia genética, como la quinua tropical y la quinua real, e incluso la inclusión de parientes silvestres, constituye una estrategia clave para la ampliación de la base genética y la adaptación al cambio climático (Rojas et al., 2019).

En este trabajo de investigación, se facilitó la hibridación espontánea intraespecífica entre 4 variedades de quinua tropical y 6 variedades de quinua real mediante siembras en surcos alternos, aprovechando la alogamia de la especie y la acción de polinizadores naturales y el viento, con el propósito de obtener híbridos F1 y observar la expresión de caracteres en la primera generación filial y sentar las bases para futuras selecciones.

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el potencial del mejoramiento genético de variedades de quinua tropical mediante hibridación con variedades de quinua real, orientado a obtener genotipos adaptados y resilientes al cambio climático en condiciones agroecológicas del Algarrobal, municipio de Yacuiba.

Los objetivos específicos: Desarrollar procesos de

hibridación espontánea intraespecífica entre variedades de quinua tropical y quinua real, buscando mejorar el tamaño de grano. Describir las características morfoagronómicas cuantitativas y cualitativas de los progenitores y la progenie y la obtención de la primera generación filial F1 para su evaluación en un siguiente ciclo de selección.

Las hipótesis planteadas se describen a continuación:

Hipótesis alterna

La progenie o poblaciones derivadas de la hibridación entre quinua tropical y quinua real, presentan mejores características agronómicas y mayor adaptación a las condiciones ambientales del Chaco Tarijeño-Yacuiba que las variedades originales de quinua tropical.

Hipótesis nula

No existen diferencias significativas en las características agronómicas ni en la adaptación al ambiente chaqueño entre las líneas hibridadas y las variedades originales de quinua tropical.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se desarrolló durante la campaña agrícola de invierno del 2024 bajo condiciones de riego, en el Centro Experimental de la Carrera de Ingeniería Agronómica, dependiente de la Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en la comunidad de Algarrobal, municipio de Yacuiba; primera sección de la Región Autónoma del Gran Chaco del departamento de Tarija, a 22 Km carretera Yacuiba – Santa Cruz. Geográficamente está situado a 21° 50' 53`` de latitud sur y 63° 36' 28`` de longitud oeste, a una altura de 606 m.s.n.m.

2.1. Materiales

2.1.1. Material vegetal

El material genético utilizado fueron los siguientes:

Quinua tropical: Semilla proporcionada por la Universidad Mayor de San Simón a través de su Centro de Biotecnología y Nanotecnología, las variedades Verde trica 4, M Amarillo 15, Lila claro 8 y 495 verde 2.

Quinua real: Obtenidas de un productor de quinua del departamento de Potosí, variedades Precoz, Challa Moko, Toledo, Chulpi, Pandela y Kellu.

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio se enmarca dentro de una

investigación de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo y diseño experimental, ya que se buscó generar información inicial sobre la viabilidad de cruzamientos espontáneos entre variedades de quinua tropical y real, en condiciones agroecológicas del Chaco Tarijeño.

El diseño de la investigación se basó en diferentes procesos de hibridación espontanea intraespecífica, aprovechando el porcentaje de alogamia de la quinua (10-20%) generando condiciones para el cruzamiento natural de los individuos que formaron parte del plan de cruzamientos.

2.2.2. Diseño metodológico de campo

Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, el diseño estuvo centrado a un arreglo orientado a inducir la hibridación natural, aprovechando la alogamia parcial de la quinua y la polinización asistida por viento o insectos.

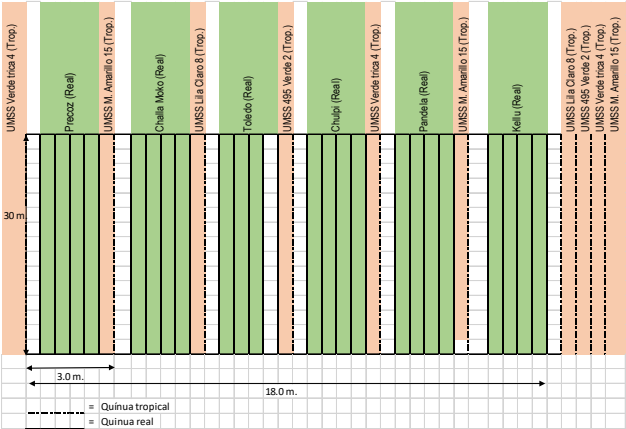


Figura 1. Croquis de campo parcelas de hibridación quinua tropical x quinua real



Fotografía 1. Parcelas de hibridación espontánea e intraespecífica

2.2.3. Variables de estudio

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Variables cualitativas:

Color de panoja, color de grano, color de tallo, forma de

panoja.

Variables cuantitativas:

Días a floración, altura de planta, longitud de panoja, tamaño de grano, porcentaje de plantas polinizadas, días a madurez fisiológica y porcentaje de plantas polinizadas.

3.2.4. Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas se realizó un análisis de varianza y si el ANOVA reportó diferencias estadísticas, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Duncan al 0.05%. Para el caso de las variables cualitativas se procedió al cálculo de un estadístico descriptivo como la frecuencia absoluta y la correspondiente prueba de chi cuadrada. El software utilizado fue el Info Stat 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

Variables Cuantitativas

□ Días a floración

La comparación de medias mediante el test de Duncan al 5% para la variable días a floración reveló diferencias significativas entre los genotipos evaluados. Las variedades de quinua real (como Precoz, Kellu, Challa Moko, Chulpi, Toledo y Pandela) presentaron los valores más bajos en días a floración (entre 51 y 59 días). Esto indica que estas variedades son más precoces en comparación con los demás genotipos. En cambio, las variedades tropicales puras y algunas cruza tropical x real mostraron valores significativamente mayores, alcanzando hasta 72 días a floración, es el caso de la quinua tropical M Amarillo 15 siendo las más tardía, mostrando diferencias estadísticas con respecto a las variedades reales. Estos resultados reflejan la diversidad genética en cuanto a precocidad entre los materiales evaluados, siendo las cruza una posible vía para combinar precocidad con adaptabilidad en el ambiente evaluado. Una característica que se pudo observar fue que las variedades de quinua real, al ser de un ambiente frío y por el cambio de ambiente se volvieron más precoces, por el contrario, las quinuas tropicales se hicieron más tardías, debido a que se las sembró en pleno invierno, mientras que las cruza en general mostraron un comportamiento intermedio.

Test: Duncan Alfa=0.05

Genotipo	Medias	n	E.E.						
Quinua Real (Precoz)	51.00	1	3.88	a					
Quinua Real (Kellu)	54.00	1	3.88	a	b				
Quinua Real (Challa Moko)	55.00	1	3.88	a	b				
Quinua Real (Chulpi)	56.00	1	3.88	a	b				
Quinua Real (Toledo)	58.00	1	3.88	a	b	c			
Quinua Real (Pandela)	59.00	1	3.88	a	b	c	d		
Verde Trica 4 x Precoz	59.40	5	1.73	a	b	c	d	e	
Lila Claro 8 x Toledo	61.40	5	1.73	a	b	c	d	e	f
M Amarillo 15 x Kellu	62.60	5	1.73	b	c	d	e	f	
M Amarillo 15 x Challa Mok..	64.20	5	1.73	b	c	d	e	f	
Verde Trica 4 x Pandela	64.40	5	1.73	b	c	d	e	f	
Quinua Tropical (Verde tri..	67.00	1	3.88	c	d	e	f		
Quinua Tropical (495 verde..	69.00	1	3.88		d	e	f		
Quinua Tropical (Lila clar..	70.00	1	3.88			e	f		
495 Verde 2 x Chulpi	70.40	5	1.73				f		
Quinua Tropical (M Amarill..	72.00	1	3.88					f	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 1. Comparación de medias días a floración.

□ Altura de planta (m)

Las variedades de quinua tropical presentaron las mayores alturas promedio, es el caso de la variedad verde trica 4 con una altura de 1,21 m. Las cruza tropical x real mostraron alturas intermedias (0,75 a 0,93 m), lo que indica un posible efecto de vigor híbrido. En contraste, las variedades de quinua real registraron las menores alturas, con valores entre 0,41 y 0,56 m, siendo significativamente más bajas que las demás.

Esto sugiere que el material tropical y las cruza tienen mayor potencial de desarrollo vegetativo en las condiciones de Algarrobal.

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0276 gl: 24

Genotipo	Medias	n	E.E.						
Quinua Tropical (Verde tri..	1.21	1	0.17	a					
Quinua Tropical (495 verde..	1.07	1	0.17	a					
Quinua Tropical (M Amarill..	1.03	1	0.17	a					
Verde Trica 4 x Precoz	0.93	5	0.07	a	b				
M Amarillo 15 x Kellu	0.91	5	0.07	a	b	c			
495 Verde 2 x Chulpi	0.89	5	0.07	a	b	c			
M Amarillo 15 x Challa Mok..	0.87	5	0.07	a	b	c	d		
Quinua Tropical (Lila clar..	0.86	1	0.17	a	b	c	d		
Verde Trica 4 x Pandela	0.83	5	0.07	a	b	c	d		
Lila Claro 8 x Toledo	0.77	5	0.07	a	b	c	d		
Quinua Real (Toledo)	0.56	1	0.17		b	c	d		
Quinua Real (Precoz)	0.55	1	0.17		b	c	d		
Quinua Real (Kellu)	0.47	1	0.17		b	c	d		
Quinua Real (Chulpi)	0.44	1	0.17			c	d		
Quinua Real (Challa Moko)	0.41	1	0.17				d		
Quinua Real (Pandela)	0.41	1	0.17					d	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 2. Comparación de medias altura de planta.

□ Longitud de panoja (cm)

La mayor longitud de panoja se observó en la variedad Quinua Tropical (M Amarillo 15) con 44,40 cm, mientras que la menor correspondió a la variedad Quinua Real (Chulpi) con 19,30 cm. Un valor intermedio representativo fue el de la cruza Verde Trica 4 x Pandela, con 33,20 cm.

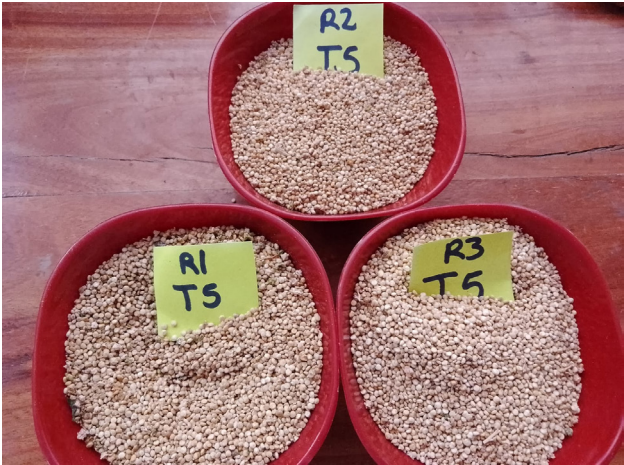
Esta variación puede atribuirse a diferencias genéticas entre los grupos: las variedades tropicales tienden a expresar mayor desarrollo vegetativo como adaptación a climas cálidos, lo que se refleja en panojas más largas, mientras que las variedades reales, adaptadas a condiciones altiplánicas, pueden invertir más en precocidad y menos en tamaño estructural. Las cruza, por su parte, presentan valores intermedios, posiblemente por efecto de recombinación genética entre ambos grupos parentales.

Test:Duncan Alfa=0.05					
Error: 32.0125 gl: 24					
Genotipo	Medias	n	E.E.		
Quinoa Tropical (M Amarill..	44.40	1	5.66	a	
Quinoa Tropical (495 verde..	43.30	1	5.66	a	b
Quinoa Tropical (Verde tri..	42.20	1	5.66	a	b
Quinoa Tropical (Lila clar..	38.30	1	5.66	a	b
M Amarillo 15 x Challa Mok..	37.38	5	2.53	a	b
Verde Trica 4 x Precoz	37.26	5	2.53	a	b
Quinoa Real (Challa Moko)	36.40	1	5.66	a	b
M Amarillo 15 x Kellu	35.06	5	2.53	a	b c
Quinoa Real (Kellu)	34.20	1	5.66	a	b c
Quinoa Real (Precoz)	33.60	1	5.66	a	b c
Lila Claro 8 x Toledo	33.30	5	2.53	a	b c
Verde Trica 4 x Pandela	33.20	5	2.53	a	b c
Quinoa Real (Toledo)	31.40	1	5.66	a	b c
495 Verde 2 x Chulpi	29.88	5	2.53	a	b c
Quinoa Real (Pandela)	27.60	1	5.66		b c
Quinoa Real (Chulpi)	19.30	1	5.66		c
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Tabla 3. Comparación de medias longitud de panoja.

□ Tamaño de grano (mm)

La media superior de tamaño de grano se observó en las variedades Quinoa Real (Toledo y Chulpi) con 2.14 mm, seguidas de otras reales como Kellu y Pandela. Por el contrario, los menores tamaños de grano se registraron en las variedades tropicales como M Amarillo 15 (1.45 mm), lo que evidencia diferencias estadísticas claras frente a las reales. Las cruzas ocuparon una posición intermedia (entre 1.67 y 1.82 mm), reflejando una posible recombinación parcial del carácter. Esta tendencia sugiere que las variedades reales presentan mayor tamaño de grano, posiblemente por selección tradicional enfocada en calidad de grano, mientras que las tropicales han priorizado adaptación a climas cálidos, no necesariamente asociada al aumento de tamaño.



Fotografía 2. Característica de grano

Test:Duncan Alfa=0.05					
Error: 0.0237 gl: 24					
Genotipo	Medias	n	E.E.		
Quinoa Real (Toledo)	2.14	1	0.15	a	
Quinoa Real (Chulpi)	2.14	1	0.15	a	
Quinoa Real (Kellu)	2.10	1	0.15	a	b
Quinoa Real (Pandela)	2.10	1	0.15	a	b
Quinoa Real (Challa Moko)	2.03	1	0.15	a	b c
Quinoa Real (Precoz)	2.02	1	0.15	a	b c
M Amarillo 15 x Kellu	1.82	5	0.07	a	b c d
Verde Trica 4 x Precoz	1.81	5	0.07	a	b c d
Verde Trica 4 x Pandela	1.76	5	0.07	a	b c d
M Amarillo 15 x Challa Mok..	1.76	5	0.07	a	b c d
Lila Claro 8 x Toledo	1.67	5	0.07		b c d
Quinoa Tropical (495 verde..	1.61	1	0.15		c d
495 Verde 2 x Chulpi	1.61	5	0.07		c d
Quinoa Tropical (Lila clar..	1.61	1	0.15		c d
Quinoa Tropical (Verde tri..	1.60	1	0.15		c d
Quinoa Tropical (M Amarill..	1.45	1	0.15		d
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Tabla 4. Comparación de medias tamaño de grano.

□ Días a madurez fisiológica

Las variedades tropicales (como Verde Trica, M Amarillo 15, Lila Claro) mostraron los valores más altos de días a madurez fisiológica (126–129 días).

Por otro lado, las variedades de Quinoa Real (como Precoz, Chulpi y Toledo) tuvieron los valores más bajos (95–105 días), indicando diferencias significativas con respecto a tropicales y cruzas.

Test:Duncan Alfa=0.05					
Error: 8.8000 gl: 24					
Genotipo	Medias	n	E.E.		
Quinoa Tropical (Verde tri..	129.00	1	2.97	a	
Quinoa Tropical (M Amarill..	128.00	1	2.97	a	b
Quinoa Tropical (Lila clar..	126.00	1	2.97	a	b c
Quinoa Tropical (495 verde..	126.00	1	2.97	a	b c
Verde Trica 4 x Pandela	121.40	5	1.33	a	b c
M Amarillo 15 x Challa Mok..	121.40	5	1.33	a	b c
M Amarillo 15 x Kellu	121.00	5	1.33	a	b c
Lila Claro 8 x Toledo	120.20	5	1.33		b c
Verde Trica 4 x Precoz	119.80	5	1.33		b c
495 Verde 2 x Chulpi	119.60	5	1.33		c
Quinoa Real (Pandela)	105.00	1	2.97		d
Quinoa Real (Challa Moko)	104.00	1	2.97		d
Quinoa Real (Kellu)	101.00	1	2.97		d e
Quinoa Real (Toledo)	100.00	1	2.97		d e
Quinoa Real (Chulpi)	98.00	1	2.97		d e
Quinoa Real (Precoz)	95.00	1	2.97		e
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)					

Tabla 5. Comparación de medias días a madurez fisiológica.

□ Porcentaje de plantas polinizadas

El análisis reportó diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos que obtuvieron mayor cantidad de plantas polinizadas fueron 495 Verde 2 x Chulpi (87.21%) y Verde Trica 4 x Precoz (84.10%), mientras que las demás cruzas (M Amarillo 15 x Kellu, Verde Trica 4 x Pandela, M Amarillo 15 x Challa Moko, y Lila Claro 8 x Toledo), con valores entre 52.55% y 59.73%.

Test:Duncan Alfa=0.05				
Error: 111.0107 gl: 24				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
495 Verde 2 x Chulpi	87.21	5	4.71	a
Verde Trica 4 x Precoz	84.10	5	4.71	a
M Amarillo 15 x Kellu	59.73	5	4.71	b
Verde Trica 4 x Pandela	57.01	5	4.71	b
M Amarillo 15 x Challa Mok..	54.02	5	4.71	b
Lila Claro 8 x Toledo	52.55	5	4.71	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 6. Comparación de medias porcentaje de plantas polinizadas.

□ Rendimiento (kg/ha)

Los materiales híbridos tropical x real como Verde Trica 4 x Precoz y 495 Verde 2 x Chulpi presentan un rendimiento significativamente con 1424,34 kg/ha y 1398,15 kg/ha respectivamente, como Pandela y Kellu, superior a las variedades tradicionales de quinua real lo que demuestra el potencial del mejoramiento genético a través de la hibridación para incrementar la productividad en el contexto del Chaco Tarijeño.



Fotografía 3. Características fenotípicas de los materiales obtenidos por hibridación.



Fotografía 4. Potencial de rendimiento

Test:Duncan Alfa=0.05				
Error: 7302.5541 gl: 24				
Genotipo	Medias	n	E.E.	
Verde Trica 4 x Precoz	1424.34	5	38.22	a
495 Verde 2 x Chulpi	1398.15	5	38.22	a
Quinua Tropical (Verde tri..	1292.52	1	85.45	a b
Quinua Tropical (495 verde..	1255.27	1	85.45	a b c
Quinua Real (Precoz)	1131.66	1	85.45	b c
M Amarillo 15 x Challa Mok..	1082.58	5	38.22	b c d
Lila Claro 8 x Toledo	1053.79	5	38.22	c d e
Quinua Real (Chulpi)	895.67	1	85.45	d e
Quinua Tropical (M Amarill..	875.34	1	85.45	d e f
M Amarillo 15 x Kellu	835.09	5	38.22	e f
Verde Trica 4 x Pandela	824.27	5	38.22	e f
Quinua Tropical (Lila clar..	658.23	1	85.45	f g
Quinua Real (Toledo)	455.67	1	85.45	g h
Quinua Real (Challa Moko)	452.54	1	85.45	g h
Quinua Real (Kellu)	389.12	1	85.45	h
Quinua Real (Pandela)	345.92	1	85.45	h

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Tabla 7. Comparación de medias rendimiento

Variables cualitativas

□ Color de panoja

Se observó una distribución diferencial de colores de panoja entre los genotipos evaluados. Los colores más frecuentes fueron verde claro (15 casos) y rosado (10 casos), mientras que lila y morado se presentaron con menor frecuencia (1 caso cada uno). Esta variabilidad fue evaluada estadísticamente mediante la prueba de Chi Cuadrado de Pearson, la cual resultó significativa ($\chi^2 = 131.73$; gl = 75; p = 0.0001), indicando que existe asociación entre el genotipo y el color de panoja, es decir, que la distribución del color no es al azar, sino que está influenciada por el tipo de genotipo.

Asimismo, el coeficiente de contingencia de Cramer (0.74) y de Pearson (0.88) muestran una alta asociación entre ambas variables, lo que respalda la relevancia de este carácter como diferenciador entre los materiales evaluados, especialmente entre las cruza, las variedades de quinuas reales y tropicales.

recuencias absolutas							
En columnas:Color de panoja							
Genotipo	lila	marrón claro	morado	rosado	verde claro	verde oscuro	Total
495 Verde 2 x Chulpi	0	0	0	2	2	1	5
Lila Claro 8 x Toledo	0	0	0	1	2	2	5
M Amarillo 15 x Challa Mok..	0	0	0	2	1	2	5
M Amarillo 15 x Kellu	0	0	0	2	1	2	5
Quinua Real (Challa Moko)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Chulpi)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Kellu)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Pandela)	0	0	0	0	1	0	1
Quinua Real (Precoz)	0	0	0	0	1	0	1
Quinua Real (Toledo)	0	0	0	0	1	0	1
Quinua Tropical (495 verde..	0	0	0	0	1	0	1
Quinua Tropical (Lila clar..	0	0	1	0	0	0	1
Quinua Tropical (M Amarill..	1	0	0	0	0	0	1
Quinua Tropical (Verde tri..	0	0	0	0	1	0	1
Verde Trica 4 x Pandela	0	0	0	2	2	1	5
Verde Trica 4 x Precoz	0	0	0	1	2	2	5
Total	1	3	1	10	15	10	40

Tabla 8. Frecuencias absolutas color de panoja.

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	131.73	75	0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	51.88	75	0.9808
Coef.Conting.Cramer	0.74		
Coef.Conting.Pearson	0.88		

Tabla 9. Prueba de hipótesis Chi cuadrado color de panoja.

Forma de panoja

En los genotipos evaluados se observaron tres tipos de forma de panoja: amarantiforme, glomerulada e intermedia. La forma intermedia fue la más frecuente (30 observaciones), presente en todos los materiales cruzados. En contraste, la forma amarantiforme se encontró exclusivamente en las variedades reales (6 casos), y la forma glomerulada fue característica de las variedades tropicales (4 casos).

El análisis de independencia mediante la prueba de Chi Cuadrado de resultó altamente significativo, lo que indica que existe una asociación estadísticamente significativa entre el genotipo y la forma de panoja.

Asimismo, los coeficientes de contingencia de Cramer (0.82) y Pearson (0.82) revelan una asociación muy fuerte entre el tipo de material genético y la morfología de la panoja. Esto sugiere que la forma de panoja es un carácter diferenciador confiable para distinguir entre materiales reales, tropicales y sus cruzas, siendo útil en la caracterización morfológica y selección en programas de mejoramiento genético de quinua.



Fotografía 5. Formas de panoja de la progenie obtenida

recuencias absolutas				
En columnas: Forma de panoja				
Genotipo	Amarantiforme	Glomeruladas	Intermedias	Total
495 Verde 2 x Chulpi	0	0	5	5
Lila Claro 8 x Toledo	0	0	5	5
M Amarillo 15 x Challa Mok..	0	0	5	5
M Amarillo 15 x Kellu	0	0	5	5
Quinoa Real (Challa Moko)	1	0	0	1
Quinoa Real (Chulpi)	1	0	0	1
Quinoa Real (Kellu)	1	0	0	1
Quinoa Real (Pandela)	1	0	0	1
Quinoa Real (Precoz)	1	0	0	1
Quinoa Real (Toledo)	1	0	0	1
Quinoa Tropical (495 verde..	0	1	0	1
Quinoa Tropical (Lila clar..	0	1	0	1
Quinoa Tropical (M Amarill..	0	1	0	1
Quinoa Tropical (Verde tri..	0	1	0	1
Verde Trica 4 x Pandela	0	0	5	5
Verde Trica 4 x Precoz	0	0	5	5
Total	6	4	30	40

Tabla 10. Frecuencias para forma de panoja

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	80.00	30	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	58.45	30	0.0014
Coef.Conting.Cramer	0.82		
Coef.Conting.Pearson	0.82		

Tabla 11. Prueba de hipótesis Chi cuadrado forma de panoja.

Color de grano

Los colores de grano más frecuentes en las cruzas fueron: rosado, rosado claro y crema oscuro, con 11 observaciones cada uno.

Las demás cruzas presentan una mayor diversidad de colores, en especial hacia tonalidades rosadas y oscuras, lo que sugiere una segregación genética significativa en esta característica.

El valor de Chi cuadrado de Pearson ($p < 0.0001$) indica que hay una asociación altamente significativa entre genotipo y color de grano, es decir, el color de grano no se distribuye al azar entre los diferentes genotipos.



Fotografía 6. Color de grano quinuas reales

Frecuencias absolutas							
En columnas:Color de grano							
Genotipo	amarillo	blanco	crema claro	crema oscuro	rosado	rosado claro	Total
495 Verde 2 x Chulpi	0	0	0	0	2	3	5
Lila Claro 8 x Toledo	0	0	0	0	4	1	5
M Amarillo 15 x Challa Mok..	0	0	0	2	1	2	5
M Amarillo 15 x Kellu	0	0	0	3	0	2	5
Quinua Real (Challa Moko)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Chulpi)	0	0	0	0	1	0	1
Quinua Real (Kellu)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Pandela)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Precoz)	0	1	0	0	0	0	1
Quinua Real (Toledo)	1	0	0	0	0	0	1
Quinua Tropical (495 verde..	0	0	1	0	0	0	1
Quinua Tropical (Lila clar..	0	0	0	1	0	0	1
Quinua Tropical (M Amarill..	0	0	0	1	0	0	1
Quinua Tropical (Verde tri..	0	0	1	0	0	0	1
Verde Trica 4 x Pandela	0	0	0	2	2	1	5
Verde Trica 4 x Precoz	0	0	0	2	1	2	5
Total	1	4	2	11	11	11	40

Tabla 12. Frecuencias absolutas color de grano

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	141.82	75	<0.0001
Chi Cuadrado MV-G2	72.87	75	0.5480
Coef.Conting.Cramer	0.77		
Coef.Conting.Pearson	0.88		

Tabla 13. Prueba de hipótesis Chi cuadrado color de grano.

□ Color de tallo

Los colores más frecuentes en los genotipos evaluados fueron: Verde con rayas moradas (13 casos), Verde con rayas rojas (9 casos) y Verde con rayas amarillas (8 casos).

Estos colores rayados están presentes exclusivamente en las cruzas (no en las tropicales puras ni en las reales), lo que sugiere segregación fenotípica por recombinación genética.

Las variedades de quinua real presentan solo el color verde (6 observaciones), mientras que las tropicales puras muestran colores más simples: amarillo o verde claro, con solo 1 o 2 observaciones cada uno.

El Chi cuadrado de Pearson fue significativo ($p = 0.0002$), indicando que existe una asociación estadísticamente significativa entre el genotipo y el color del tallo.

Frecuencias absolutas						
En columnas:Color de tallo						
Genotipo	amarillo	verde	verde claro	verde con rayas amarillas	verde con rayas moradas	verde con rayas rojas
495 Verde 2 x Chulpi	0	0	0	1	3	
Lila Claro 8 x Toledo	0	0	0	2	2	
M Amarillo 15 x Challa Mok..	0	0	0	1	2	
M Amarillo 15 x Kellu	0	0	0	2	2	
Quinua Real (Challa Moko)	0	1	0	0	0	
Quinua Real (Chulpi)	0	1	0	0	0	
Quinua Real (Kellu)	0	1	0	0	0	
Quinua Real (Pandela)	0	1	0	0	0	
Quinua Real (Precoz)	0	1	0	0	0	
Quinua Real (Toledo)	0	1	0	0	0	
Quinua Tropical (495 verde..	1	0	0	0	0	
Quinua Tropical (Lila clar..	0	0	1	0	0	
Quinua Tropical (M Amarill..	0	0	1	0	0	

Tabla 14. Frecuencias absolutas color de tallo

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	126.96	75	0.0002
Chi Cuadrado MV-G2	70.12	75	0.6377
Coef.Conting.Cramer	0.73		
Coef.Conting.Pearson	0.87		

Tabla 15. Prueba de hipótesis Chi cuadrado color de tallo

3.2. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sobre la hibridación entre variedades de quinua tropical y real en el Chaco Tarijeño reflejan patrones consistentes con investigaciones previas enfocadas en adaptación climática, vigor híbrido y productividad agronómica.

1. Precocidad y floración

Las variedades reales exhibieron ciclos más cortos (51–59 días) frente a las tropicales más tardías (hasta 72 días), lo que refleja una estrategia adaptativa útil en ambientes con disponibilidad hídrica limitada. Esto concuerda con los hallazgos de Maamri et al. (2022), quienes observaron que genotipos adaptados a condiciones áridas de Argelia presentaban floraciones más tempranas como respuesta a temperaturas extremas. Asimismo, diversos estudios sobre regulación genética del tiempo de floración en quinua, como el de Jarvis et al. (2017), han identificado variantes alélicas que favorecen la adaptación fenológica bajo distintas condiciones de fotoperiodo y temperatura.

2. Altura y longitud de panoja:

Los genotipos tropicales alcanzaron alturas superiores (hasta 1,21 m) y panojas más largas, en contraste con las cruzas intermedias y las reales de menor porte. Este comportamiento es indicativo de heterosis, similar a lo reportado por Habiyaemye et al. (2022) en Ruanda, donde las líneas adaptadas a zonas bajas mostraron mayor vigor vegetativo y rendimiento, destacando la importancia del efecto genotipo × ambiente.

3. Tamaño de grano y rendimiento:

Las cruzas mostraron rendimientos superiores (1,424 kg/ha y 1,398 kg/ha) y tamaño de grano intermedio, lo que sugiere una combinación favorable entre el vigor vegetativo de las tropicales y la calidad del grano de las reales. Estos resultados coinciden con los trabajos de Bazile et al. (2016) y de Maamri et al. (2022), quienes demostraron que variedades como ‘Titicaca’ y ‘SW2’ combinan precocidad con buen tamaño y peso de 1,000 semillas (3.4 g), alcanzando rendimientos estables bajo condiciones de semiarides.

4. Polinización y caracteres cualitativos:

Los altos porcentajes de plantas polinizadas (>84 %) en cruzas con variedades Precoz y Chulpi se correlacionan con la presencia de caracteres dominantes como color

del tallo, grano y forma de panoja.

Esta observación está en línea con lo documentado por Emrani et al. (2020), quienes destacan el uso de rasgos cualitativos como marcadores morfológicos útiles para identificar cruza exitosas en generaciones F1 y F2. Además, los coeficientes de asociación (coeficiente de Cramer ~0.73–0.82) confirman una clara dependencia entre los caracteres cualitativos y el genotipo parental, en concordancia con los estudios de diversidad genética morfológica en quinua realizados por Bertero y Ruiz (2008) y Gómez-Pando et al. (2015).

4. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar el comportamiento agronómico y fenotípico de diferentes genotipos de quinua tropical, real y sus cruza, en condiciones del Chaco Tarijeño, más específicamente en la comunidad de Algarrobal en el municipio de Yacuiba. Se evidenció una amplia variabilidad entre los diferentes tratamientos, especialmente en variables como días a floración, número de plantas polinizadas y características morfológicas como el color de tallo. En cuanto a los días a floración, se observaron diferencias significativas, destacando algunos híbridos con floración intermedia, lo cual podría indicar una segregación favorable para adaptación climática.

La variable de plantas polinizadas mostró diferencias altamente significativas, destacando los cruzamientos “Verde 2 x Chulpi” y “Verde Trica 4 x Precoz”, con mejor eficiencia de polinización, lo que evidencia la viabilidad de estos cruzamientos para futuros ciclos de selección.

Respecto al color de tallo, forma de panoja, color de panoja y color de grano, la prueba de Chi cuadrado evidenció una asociación significativa entre genotipo y la expresión del carácter, con una alta diversidad en las cruza (colores intermedios y combinados), lo cual sugiere un patrón de herencia variable y el potencial para seleccionar caracteres visuales vinculados a otras adaptaciones.

En resumen, los cruzamientos evaluados muestran potencial genético prometedor para desarrollar variedades mejor adaptadas a las condiciones del Chaco, combinando precocidad, diversidad fenotípica y buena capacidad de polinización, contribuyendo así al mejoramiento genético de quinua tropical en escenarios de cambio climático.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Verniau, A. (2016). *La quinua: de los Andes al mundo*. FAO.

Gandarillas, H., Mujica, A., & Bonifacio, A. (2015). *Mejoramiento genético de la quinua*. Universidad Mayor

de San Andrés.

Espinoza, C., Poma, J., & Rojas, W. (2017). *Evaluación de enfermedades en quinua bajo condiciones tropicales*. Revista Agropecuaria Andina, 14(2), 55-63.

Mujica, A., Jacobsen, S. E., & Izquierdo, J. (2001). *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. FAO.

Rojas, J., Ren G., Mujica A. (2022). *La Quinua el grano sagrado de los incas*. Imprenta Ortega. Bolivia.

Rojas, W., Pinto, M., & Apaza, V. (2019). *Mejoramiento participativo de quinua en Bolivia*. Fundación PROINPA.

Vargas, R., & Franco, J. A. (2014). *Adaptación de cultivos andinos al cambio climático*. Revista Latinoamericana de Agroecología, 10(1), 45-53.

Bonifacio, A., & Maldonado, S. (2012). *Avances en mejoramiento de quinua en ambientes tropicales*. INIAF.

Peralta, E., & Vela, D. (2020). *Evaluación de progenies de quinua en el trópico húmedo*. Revista Ciencia Agraria, 21(3), 122-130.

Bazile, D., Jacobsen, S.-E., y Verniau, A. (2016). *La expansión global de la quinua: tendencias y límites*. Frontiers in Plant Science, 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>

Bertero, H. D. y Ruiz, R. A. (2008). *Ecofisiología de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.): una revisión*. Revista Científica Agropecuaria, 12(1), 13–25.

mrani, H., Anjam, M. S., y Shahbazi, M. (2020). *Marcadores morfológicos como herramientas para verificar la hibridación en programas de mejoramiento de quinua*. Journal of Agricultural Science, 12(4), 105–112.

E. Gómez-Pando, L. R., Aguilar-Castellanos, E., & Escobar-Victoria, N. (2015). *Caracterización morfológica y molecular de genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) del altiplano peruano*. Revista Peruana de Biología, 22(3), 271–278.

Abiyaremye, C., Matanguihan, J. B., y Murphy, K. M. (2022). *Evaluación del rendimiento y la adaptabilidad de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en ambientes de baja altitud y alta temperatura de Ruanda*. Frontiers in Plant Science, 13, 852377. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.852377>

Arvis, D. E., Kopp, O. R. y Maughan, P. J. (2017). *Regulación genética de la época de floración y la fenología de la quinua*. The Plant Genome, 10(3), 1–10. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.04.0021>

Artículo de Investigación

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROTOTIPOS TERMO SOLARES PARA REDUCIR LA EVAPORACIÓN EN BEBEDEROS APÍCOLAS EN EL CHACO BOLIVIANO, YACUIBA

EFFICIENCY EVALUATION OF THERMO-SOLAR PROTOTYPES IN ORDER TO REDUCE EVAPORATION IN APIARY DRINKING FOUNTAINS IN BOLIVIAN CHACO, YACUIBA

Claire Salinas¹, Rosa-Filho²¹ UAJMS/GIA-CC/FIRNT/berclaure@uajms.edu.bo / ORCIDID: 0009-0004-0904-180X² IFSC/Campus Aranguá/onidlavso@gmail.comRESUMEN

El calentamiento global ocasionado en parte por quema de combustibles fósiles y ampliación de la frontera agrícola mediante chaqueos o quemas descontroladas, causa graves daños ambientales. Es necesario analizar y desarrollar tecnologías de provisión de agua en apiarios, utilizando fuentes no convencionales de energía, como la solar térmica, que mejore la productividad en obtención de mieles y derivados de la colmena en situaciones de estrés hídrico del chaco boliviano, con disminución de precipitaciones del 16 % con los últimos 50 años. Los OBJETIVOS fueron “validar el comportamiento de prototipos de bebederos apícolas termo solares con enfoque de cambio climático, para adaptarse a efectos del cambio climático y mitigarlos” estableciendo los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar componentes y principios físicos de bebederos apícolas termo solares, mediante análisis documental, ii) aplicar 3 prototipos de bebedero apícola termo solar y un bebedero testigo, mediante experimentación, para determinar su productividad en provisión de agua y iii) Analizar el comportamiento de 3 prototipos frente a un bebedero testigo, para describir problemas para futuras investigaciones. Asumiendo la HIPÓTESIS: “La aplicación de prototipos permite mejorar la productividad del suministro de agua”. La investigación es Exploratorio – Descriptiva y contempla un diseño cuasi experimental sin manipulación de variables independientes (bioclimáticas) como temperaturas máxima, mínima, Humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y radiación ultravioleta, repitiendo la experimentación 2 veces durante

periodos cortos (una semana) y 2 repeticiones más durante periodos más largos (un mes), hasta vaciarse el bebedero testigo por evaporación. Entre los RESULTADOS, i) se comprendieron los fundamentos del funcionamiento de los prototipos como máquinas térmicas según el ciclo de Carnot; ii) caudal de bombeo diario de aproximadamente 3% y caudal total entre 93% y 97%; iii) pérdida diaria inferior a 0,26% comparada con una pérdida diaria del control de 3,82%, que presentó una pérdida total por evaporación de 99%. DISCUSIÓN: esto significa que los prototipos presentaron un bombeo superior al 93% y evaporación acumulada inferior al 3%, comparados con 99% de evaporación, valores que mejoran la productividad apícola, confirmando la hipótesis de mejora de productividad.

Palabras Chave: bebedero apícola, energía termo solar, productividad.

ABSTRACT

Global warming caused in part by the burning of fossil fuels and the expansion of agricultural borders through uncontrolled burning or forest clearing causes serious environmental damage. It is necessary to analyze and develop technologies for water provision in apiaries, using unconventional sources of energy such as solar thermal, to improve productivity in the collection of honey and hive products in situations of water stress like those in the Bolivian Chaco, with a decrease in precipitation of 16% over the last 50 years. The OBJECTIVES were “to validate the behavior of solar thermal beehive drinking prototypes with a climate

change focus, to adapt to and mitigate the effects of climate change,” establishing the following specific goals: i) to characterize the components and physical principles of solar thermal beehive drinkers through documentary analysis, ii) to apply 3 prototypes of solar thermal beehive drinkers and one control drinker, through experimentation, to determine their productivity in water provision and iii) Analyze the behavior of 3 prototypes against a control drinking fountain, to describe problems for future research. Assuming the HYPOTHESIS: “The application of prototypes allows improving the productivity of water supply.” The research is Exploratory – Descriptive and includes a quasi-experimental design without manipulation of independent variables (bioclimatic) such as maximum, minimum temperatures, relative humidity, wind speed, atmospheric pressure, and ultraviolet radiation, repeating the experimentation 2 times during short periods (one week) and 2 more repetitions during longer periods (one month), until the control drinking fountain is emptied by evaporation. Among the RESULTS, i) the fundamentals of the operation of the prototypes as thermal machines according to the Carnot cycle were understood; ii) a daily pumping flow of approximately 3% and a total flow between 93% and 97%; iii) a daily loss of less than 0.26% compared to the daily loss of the control at 3.82%; and the control showed a total loss due to evaporation of 99%. DISCUSSION: this means that the prototypes had pumping greater than 93% and accumulated evaporation lower than 3%, compared to 99% evaporation, values that improve beekeeping productivity, confirming the hypothesis of productivity improvement.

Keywords: Beekeeping drinking fountain, solar thermal energy, productivity

INTRODUCCIÓN

Tal como menciona Bronowski (1979) en su libro *El Ascenso del Hombre*, el foco de la ciencia ha cambiado desde la física hasta las ciencias de la vida, penetrando más y más en la individualidad y el desarrollo de la ciencia en conjunciones muy complejas; es un desarrollo humano, donde los descubrimientos son hechos por los hombres,

que viven y son portadores de la individualidad. Esta postura comulga con la definición establecida por Torrico (2024), sobre el método de Investigación Acción “Es una forma de estudiar la sociedad para transformarla en una que está en permanente estado de construcción, reconstrucción y deconstrucción”, donde el principal protagonista es el ser humano.

Es evidente el cambio climático, que según el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC,1992) y mencionado por el Ministerio de Energías de Bolivia (2020) está definido como el “cambio en el estado del clima que puede identificarse mediante modificaciones en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, generalmente décadas o más”.

El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o externos, tales como cambios de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos que incidan en la composición de la atmósfera que provocan el efecto invernadero (ver figura 1), que naturalmente está alrededor de un incremento natural de 30°C y que propicia la proliferación de la vida en el planeta Tierra, al haberse logrado la adaptación de las especies a estas temperaturas.

Actualmente se observa el incremento de temperatura como resultado de contaminación antropogénica, que agudiza el efecto invernadero y en lugar de generar condiciones favorables para el desarrollo de la vida en el planeta, amenazan con extinguirla a menos que los organismos del planeta se adapten a esos cambios, tal es el caso de las abejas, que se adaptan a estos cambios.

El cambio climático ha sido agravado por la actividad humana, a partir de la revolución industrial, aumentando la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales se acumulan en la atmósfera, incrementando el efecto, sin embargo, los GEI antropogénicos repercuten en el calentamiento global excesivo y finalmente,

Figura 1. Efecto Invernadero

NOTA: Obtenido de Primer Informe Evaluación del IPCC, 1999, mencionado por Ministerio de

Energías (2020).

la alteración del clima, tal como se muestra en la secuencia de problemas de la figura 2.



Figura 2. Secuencia de problemas relacionados con el cambio climático.

Según la Fundación Ayuda en Acción (2023) en el Chaco, una de las principales preocupaciones es la deforestación. La tala indiscriminada de árboles para la expansión de la agricultura, la ganadería y la extracción de madera ha llevado a la pérdida de miles de hectáreas de bosques en el Chaco. Esta deforestación tiene graves consecuencias para el ecosistema local, ya que los bosques son el hogar de numerosas especies de plantas y animales, algunos de ellos endémicos y en peligro de extinción. El cambio climático también está impactando en el Chaco. El aumento de las temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones afectan a los patrones de vegetación y los ciclos naturales de la región. En Bolivia, según Solar (2023), las particularidades del clima en el Chaco Boliviano, unidas a la deforestación y actividades extractivas están provocando déficit hídrico críticos, durante la última década (2.013 – 2.022), manifestándose en la disminución de las precipitaciones en un 16% comparando los últimos 40 años.

Las altas pérdidas de colonias de abejas melíferas han promovido estudios de abejas individuales enjauladas en un ambiente controlado, que miden la respuesta a factores estresantes para luego inferir los resultados al comportamiento del super organismo (colonia). En este sentido, en un estudio realizado por Nearman y vanEngelsdorp (2022), se investigó la relación entre la provisión de agua y la longevidad de las abejas obreras enjauladas y una extrapolación para relacionar con la producción de miel por parte de la colmena y por lo tanto su productividad; los resultados del estudio fueron que las abejas con acceso al agua

tienen más probabilidades de sobrevivir más de 20 días; las que no reciben agua sólo tienen 12,5% de probabilidad de sobrevivir más de 21 días, las que recibieron agua desionizada con o sin NaCl 37,5% y las que recibieron agua de grifo tuvieron el 67% de probabilidad de sobrevivir más de 21 días. Un hallazgo interesante es que la vida media de las abejas melíferas enjauladas disminuyó en Estados Unidos de 34,3 días en 1970 a 17,7 días en 2022.

Por otra parte, Pootz, et al (2020) han encontrado una relación entre la temperatura intra - nidal y el tamaño de las abejas africanizadas, más específicamente, las crías nacidas luego de oleadas de calor, reducen su tamaño y tiempo de vida.

Costa Souza, Samel Rocha y Ribeiro de Oliveira (2018), investigaron la relación entre variación de temperatura y humedad, dentro y fuera de la colmena de abejas africanizadas, con respecto al desarrollo y mortalidad de las crías de obreras, durante un periodo cálido y seco, entre octubre y diciembre de 2016, en un área de transición entre los ecosistemas de bosques de caatinga, caatinga y cerrado del noreste brasileiro. Como conclusión del estudio, las abejas africanizadas no son eficientes en el control de la humedad interna de la colonia en un ambiente de baja humedad, sin embargo, fueron muy eficientes en controlar la temperatura de sus áreas de cría en la colonia, con la baja humedad como causa de la mortalidad del 63,7% de las crías.

Como lo establece Rosa Filho, et al (2022), en los climas secos, la falta de agua afecta las reservas y al microclima de la colmena, provocando el abandono del enjambre, ante esta situación, presentaron en el XV Congreso Latinoamericano de Apicultura (en Cuzco, Perú), una investigación sobre el desarrollo de un bebedero Apícola Colectivo a energía solar y la importancia del agua para las abejas. Se evaluó la termodinámica y los principios de funcionamiento de los prototipos del bebedero solar con sensores, simulación de funciones, análisis y procesamiento de datos, realizadas en el apiario del Instituto Federal Catarinense – Campus santa Rosa do Sul. Se observó buena aceptación del recurso entre las abejas competidoras y deben ser reevaluados en

saturación de visitas y en variaciones climáticas intensas, para conocer sus límites e influencia general. Entre las consideraciones finales se recomienda que el debate y la comprensión de las relaciones económicas y ecosistémicas deben orientar las líneas de investigación y el uso correcto del bebedero termo solar, para apoyar científicamente la posible extensión de los conocimientos a los apicultores.

Actualmente, se tiene una demanda de innovaciones que permitan la dotación de agua en los apiarios, muchas veces ubicados en lugares alejados sin acceso a redes de distribución de energía eléctrica que permitan su adecuado funcionamiento tanto para la extracción de agua de pozos o transporte de agua y tampoco para una regulación adecuada de las temperaturas dentro de la colmena; sin embargo, no existen opciones disponibles en el mercado nacional.

En ese sentido, Ayuda en Acción, introdujo en el Chaco Boliviano una innovación referida a "bebedero de agua apícola a energía solar" desarrollada y probada en Brasil por el Profesor Osvaldino Rosa Filho del Instituto Federal de Ciencia y Tecnología en Santa Catarina Brasil. Estos bebederos apícolas se encuentran actualmente en estudio en el Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá, utilizando el concepto de un motor térmico (Michels et al, 2022) regido al ciclo de Carnot. Se trata de una tecnología para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático; reduciendo la carga de trabajo del apicultor en la reposición de agua; pérdidas de crías de *Apis mellifera* L. (Rocha et al, 2017) y abandono de colmenas por enjambrazón durante sequías severas.

La presente investigación se realizó gracias al apoyo de la fundación Ayuda en Acción que adquirió los prototipos de bebederos termo solares para su validación en el chaco boliviano a cargo del Grupo de Investigación Apícola con Enfoque en el Cambio Climático (GIA-CC). El estudio también se realizó en estrecha coordinación con el grupo de investigación del Instituto Federal Catarinense, Campus Araranguá, que compartió la innovación y el conocimiento necesarios para comprender y operar los prototipos validados en las

condiciones del Chaco boliviano.

En ese marco, las autoridades de la UAJMS, a la cabeza de los decanos de las facultades FIRNyT y FCE, a la DICyT, al Departamento de Relaciones Internacionales, a la Vicerrector y al Rector apoyaron el fortalecimiento de la investigación en las unidades del Chaco boliviano, lo que permitió la creación del GIA-CC y la firma del convenio de cooperación interinstitucional UAJMS – Ayuda en Acción.

Como se puede observar en la figura 3, el PROBLEMA identificado corresponde son los: "Bajos niveles de productividad en la provisión de agua de la actividad apícola en la obtención de mieles y derivados de la colmena, ocasionados por mano de obra y transporte de agua a largas distancias y con mucha frecuencia, debido a elevadas pérdidas por evaporación en el chaco boliviano, Yacuiba, en la gestión 2024".



Figura 3. Árbol de problemas de la investigación.

El OBJETIVO GENERAL de la investigación es: "Evaluar la eficiencia de prototipos termo solares con enfoque de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático, en la reducción de la evaporación en bebederos apícolas en el Chaco boliviano, Yacuiba, para contribuir a mejorar la productividad de mieles y derivados de la colmena; reduciendo la carga de trabajo del apicultor en la reposición de agua".

Para lograr el objetivo general, se establecieron los siguientes OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar componentes y principios

físicos en los que se basan los bebederos apícolas termo solares, a través de análisis documental, para comprender mejor su funcionamiento.

- Aplicar los 3 prototipos de bebedero apícola termo solar y un bebedero testigo, mediante experimentación bajo condiciones del chaco boliviano, para determinar su productividad en provisión de agua.
- Analizar el comportamiento de los 3 prototipos con un bebedero testigo, para describir problemas para futuras investigaciones y recomendaciones de escalabilidad a nivel de producción.

Se estableció la siguiente HIPÓTESIS: “La aplicación de los prototipos de bebedero apícola termo solar, bajo el enfoque de cambio climático, permiten una mejora de la productividad de la provisión de agua, además que contribuyen a reducir las pérdidas por evaporación o competencia con otras especies, comparados con bebederos tradicionales de características similares en condiciones del Chaco Boliviano”.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación desarrollada en el presente trabajo de investigación, según el objeto de estudio, corresponde a una investigación aplicada porque es de aplicación práctica inmediata y se orientó a solucionar problemas que enfrentan los apicultores del chaco boliviano y la población en general.

El diseño de la investigación también corresponde a una investigación tecnológica aplicada, porque el conocimiento científico sobre el comportamiento de los gases, se aplica a mejorar la productividad de la producción apícola adaptándose al cambio climático evidenciado en la escasez de agua. Además, la Investigación es seccional o transversal, porque se la realiza en un periodo específico de tiempo, efectuada el año 2024.

Finalmente, según la naturaleza de la información es una investigación exploratoria por no haberse realiza investigaciones previas en el chaco boliviano, sobre el comportamiento del prototipo investigado. Además, es documental pues se investigan toda la documentación posible sobre la temática para entender mejor el funcionamiento del prototipo.

El enfoque asumido en la investigación corresponde a un enfoque cuantitativo debido a la naturaleza medible de las variables que se estudian en relación al funcionamiento de los prototipos de bebedero apícola termo solar, partiendo para ello de fundamentos teóricos, para contrastarlos con la realidad y de esa forma generalizar los resultados obtenidos producto del análisis de los datos.

Los datos climáticos publicados buscan demostrar la existencia de una relación entre las variables independientes (amplitud térmica, humedad relativa) y la cantidad de agua bombeada por los bebederos termo solares (flujo o caudal), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Variables iniciales del estudio.

Variables	Categorías	Indicador	Índice
Independiente	A m p l i t u d Térmica	Temperatura Máxima	°C
		Temperatura Mínima	°C
	Humedad Relativa	Humedad Relativa	%
Dependientes	Flujo bombeado de agua	Funciona Flujo da agua bombeado por el bebedero	Si No mL/Día
	Pérdidas	Evaporación	mL/día

En el segundo período, las variables de estudio incluyeron la velocidad del viento, la precipitación, la radiación solar y la presión atmosférica (Ver Tabla 2).

Tabla 2
Variables del estudio incluidas en el segundo periodo de observación.

Variables	Categorías	Indicador	Índice
Independiente	Velocidad del Viento	Velocidad del viento	km/h
	Presipitación	Precipitación	Mm
	R a d i a c i ó n UV	R a d i a c i ó n UV	Índice RUV
	P r e s i ó n Atmosférica	P r e s i ó n Atmosférica	kPa

El diseño de la investigación cumple con algunos de los requisitos, mencionados entre los fundamentos de investigación por Hernández-Sampieri, Méndez, Mendoza y Cuevas (2017), para ser considerado un experimento que son los siguientes: i) No se manipulan las variables independientes (Temperatura máxima, Temperatura mínima, Humedad Relativa, etc.), estas varían aleatoriamente, ii) se mide el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente (flujo bombeado) y finalmente, iii) cumple con el requisito de control o validez interna, pero los grupos de comparación no son determinados aleatoriamente y por lo tanto, el diseño de la presente investigación corresponde a un diseño cuasi experimental más que un experimenta puro.

El alcance de la investigación desarrollada en el presente trabajo es correlacional porque establece un grado de relación no causal entre las variables (no busca una relación causa - efecto), sino más bien quiere exponer la existencia de la relación entre las variables independientes (Amplitud térmica y Humedad Relativa), sobre la cantidad de agua bombeada por el bebedero termo solar (Flujo), a través de la demostración de la hipótesis.

El método de investigación empleado en la presente tesis corresponde al método hipotético - deductivo, porque la afirmación de partida establece que la aplicación de los bebederos apícolas termo solares (en su nivel de prototipo) produce una mejora en la productividad de la provisión del agua (pasando por la reducción de pérdidas por evaporación y competencia con otras especies) en las condiciones del chaco boliviano.

Los Materiales empleados durante la investigación fueron los siguientes:

- (A) Prototipos de bebedero apícola termo solar (Ver figura 4).
- (B) Mangueras para Recolección de Agua Bombeada por los Prototipos
- C) Recipientes para Recolectar el Flujo Bombeado.
- (D) Placas de vidrio de provisión de agua exclusivamente para abejas Ver fotografía 1.
- (E) Bebedero testigo o de control.

(F) Balanza



Figura 4.
Prototipos de Investigación.



Fotografía 1.
Bebedero apícola de placas de vidrio

La metodología de investigación utilizada fue la que se describe en la Tabla 3.

Tabla 3
Metodología de la investigación.

Tipo de Método	Método	Técnica	Instrumentos
Teóricos	Histórico Lógico	R e v i s i ó n documental	Registro (ficha
	Analítico Sintético	A n á l i s i s documental	Regsitro (ficha Documental
		Sintesis plamada en el informe de investigación	Cuadros Sinopticos

Tipo de Método	Método	Técnica	Instrumentos
Empíricos (Para obtención de Información)	Observación / Medición	Directa del hecho (para describir el comportamiento de los prototipos y testigo)	Guías de observación Registro de observación
	Entrevista	Abierta realizada a expertos	Cuestionarios de entrevista
Empíricos (Para experimentación)	Experi-	Funcionamiento de 3 prototipos y un testigo	Registros de observación / medición
Empíricos (Para procesamiento de Datos)	Estadísticos	Paquetes computacionales, para procesar datos y obtención de información	Hoja de cálculo electrónica Excel

DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO: El experimento se desarrolló de forma comparativa con tres prototipos de estudio y un control abierto, con un total de cuatro bebederos del mismo volumen y bajo el mismo período de insolación diaria, como se muestra en la fotografía 2, donde se observa al bebedero de control (Recipiente blanco) y los 3 bebederos de agua termo solares conectados a los depósitos de recolección de caudal bombeado de agua.



Fotografía 2.
Bebedero de control y bebederos termo solares conectados a los depósitos de recolección de caudal.

La observación y la recolección de datos se realizaron diariamente a las 7:00 a.m., en el balcón frente al edificio central de la UAJMS (21°56´ 40" S; 63°39´ 05" O), hasta que el control se vació. La variable de compresión por readmisión de agua se excluyó del análisis, ya que se recolectó en contenedores externos (ciclo híbrido sin potencial de almacenamiento de energía), con dos réplicas: en el primer período, del 16 de enero de 2024 al 15 de febrero de 2024, se recolectó el agua bombeada por los prototipos 1 y 2, mientras que el prototipo 3 operó acoplado a la canaleta capilar de distribución de agua. En los tres prototipos, fue posible calcular indirectamente las pérdidas por evaporación mediante balance de masa, al igual que en los demás bebederos. En el segundo período, del 27 de febrero al 22 de marzo de 2024, se midieron el flujo bombeado por los tres prototipos, las pérdidas por evaporación y fugas, y el agua remanente en los bebederos.

Preparación: Los prototipos de investigación se cargaron con $\frac{3}{4}$ de su volumen total de agua: $VC = \frac{3}{4} VT$, donde $VC = 0,75 * 3,785 = 2,838$ mL.

Recolección de Datos: Durante la observación y la medición, tal como se observa en la Tabla 4, se registraron los datos de las siguientes variables bioclimáticas:

- i) Temperatura máxima [´ C],
- ii) Temperatura mínima [´ C],
- iii) Humedad [%],
- iv) Velocidad del viento [km/h],
- v) radiación UV y
- vi) pesaje de los bebederos y
- vii) pesaje de reservorios de recolección de flujo bombeado.

Nº Observación	ID Dispositivo	Agua cargada	Dispositivo				Depósito Flujo		Evaporación Dispositivo		Flujo diario		Temp. /P. Rocio	Viento medio	Humedad
Fecha		(A) [mL]	Peso vado	Peso cargado		Peso inicial	Peso final	E=[(C)-Cf]+f		(F)-Di-Di		G	[°C]	[Km/h]	[%]
			(V) [g]	Inicio día (CI) [g]	Final día (CF) [g]	(DI) [g]	(DF) [g]	E [mL]	% E=E/CI	(mL/día)	% F=F/CI				
1 (10-01-2024)	1	2838	562	3400	3296	177	271	10	0.3%	94	2.8%	22°C-41°C	NE 16-44 (Km/h)	20%	
	2		562	3400	3282	178	283	13	0.4%	105	3.1%				
	3 C/nivel		776					0		0					
	Testigo		158	2996	2890			106	3.5%	0					

Tabla 4.
Fórmulas y referencia estructurada de pruebas metodológicas para la recolección de datos.

Procesamiento de datos: para obtener el caudal

diario bombeado al depósito de recolección, se calculó el flujo bombeado diariamente $F = D_f - D_i$

Donde:

F: Flujo diario;

D_f : Volumen final del depósito y

D_i : Volumen inicial del depósito);

Pérdidas por evaporación o pequeñas fugas accidentales (E)

$$E = C_i - C_f - F$$

Donde:

E: Pérdidas principalmente por evaporación,

C_i : Cantidad inicial de agua en el bebedero,

C_f : Cantidad final).

Al finalizar el experimento, se realizó una presentación gráfica de los resultados

RESULTADOS

Las características de los componentes de los prototipos de Bebedero Apícola Termo solar Bajo condiciones del Chaco boliviano, se la logró a partir de análisis documental de artículos publicados por el desarrollador, además de comunicación directa con él (Profesor Osvaldino Rosa Filho). Las partes principales del bebedero (ver figura 5) son: A) la cámara de dilatación, B) el bebedero de vidrio y C) el reservorio de recuperación de exceso de fluido bombeado, tal como se detalla a continuación: (A) Cámara de Dilatación: que contiene 2 fluidos.

- Fluido de trabajo: aire que se expande y comprime como resultado de las variaciones de la temperatura.
- Fluido aprovechable: agua para dotación a las abejas del apiario.

(B) Bebedero: Placas de vidrio con forma de cuña.

(C) Reservorio: para almacenar el exceso de agua bombeada, evitando su desperdicio por evaporación, que luego reingresa a la cámara de dilatación.

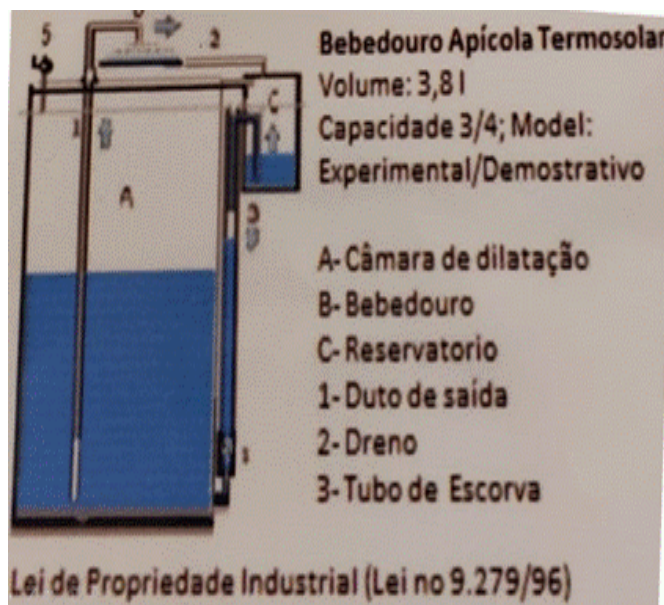


Figura 5.
Partes del Bebedero Apícola Termo solar

Las partes complementarias de los prototipos y que permiten el funcionamiento del bebedero son: 1) Ducto de salida, 2) orificio de drenaje y 3) tubo de recarga, que se explican a continuación.

1. Ducto de Salida: que permite el bombeo del fluido aprovechable (agua) a ser provisto a las abejas, desde la cámara de dilatación.

2. Orificio de drenaje: que permite el reingreso del exceso de agua, provisto desde el bebedero hacia el reservorio, para evitar sus pérdidas por evaporación.

3. Tubo de Recarga: que durante la etapa fría (noche) permite el reingreso del exceso de agua (provista por el bebedero y no aprovechada por las abejas) hacia la cámara de dilatación.

En la tabla 5 y fotografía 3, se presenta un detalle de las características de los 3 prototipos de bebedero apícola termo solar provistos por el Instituto Federal Catarinense (IFC), a través de la provisión de la Fundación Ayuda en Acción, que realizó la compra de los mismos, para su investigación de funcionamiento en condiciones del chaco boliviano.

Tabla 5.
Resultados Características de Prototipos Recibidos

Nº	Peso en vacío [g]	Peso valde	Observaciones
1	570	N/A ya estaba armado	Puede tener agua adentro (no se abrió y no se sabe si puede contener mas agua adentro)
2	560	300	Sin observaciones
3	643 (800 armado en vacío)	318	Tiene una manguera lateral para observar el nivel del agua al interior del dispositivo, en el reservorio y tiene una esponja en la manguera que alimenta al bebeder



Fotografía 3.
Observación de Funcionamiento o no del Dispositivo

Se revisaron los principios físicos que sustentan el funcionamiento de los prototipos de bebedero apícola termo solar, que funciona como una máquina térmica, para lo cual se revisaron los fundamentos teóricos referidos al comportamiento de los gases ideales, las máquinas térmicas y el ciclo de Carnot, además de los artículos científicos publicados

por el equipo desarrollador de esta innovación tecnológica apícola, que fueron registrados en la base teórica del presente documento.

Respecto a los Resultados de la Experimentación, se realizó una observación preliminar del primer prototipo recibido respecto al funcionamiento o no del dispositivo (ver tabla 6), dando como resultado que hay algunos días en los que no se observó bombeo, debido a que el día no estuvo muy caliente o como explicó el desarrollador del dispositivo no hubo mucha diferencia de temperatura entre la noche y el día, además que el día no estuvo muy soleado.

Tabla 6.
Resultados Preliminares de Experimentación

Día	Flujo diario		Evaporación Prototipo 1		Evaporación testigo		Temperatura °C
	[mL/día]	%	mL/día	%	mL / día	%	
(10-11-2023)	293	17,66	7	0,42	34	2,05	30-37°C
(11-11-2023)	512	30,99	55	3,33	228	14,03	
(12-11-2023)	137	8,57	18	1,13	77	4,95	33°C
(13-11-2023)	13	0,83	5	0,03	101	7,65	25°C
(14-11-2023)	0	0	3	0,19	102	7,89	20-26°
(15-11-2023)	220	14,07	19	1,21	79	6,63	24-36°

Con el primer dispositivo, se realizó la experimentación de flujo y evaporación retirándole la placa de vidrio del bebedero, acoplándole un recipiente para recolectar el agua bombeada. Paralelamente, se habilitó un envase de dimensiones similares para comparar la evaporación, tal como se muestra en la fotografía 4.



Fotografía 4. Experimentación de Flujo y Evaporación.

A partir de esta experimentación preliminar, se identificaron los siguientes aspectos preliminares:

- El dispositivo con el que se cuenta es didáctico.
- En días soleados y con mucho calor se produce un flujo de unos 15 a 30% del volumen contenido de agua.
- En días nublados o con poca diferencia entre la temperatura el día y la noche, hay poco flujo y casi nulo (0% a 0,83%).
- La evaporación es menor que la de un bebedero abierto como los tradicionales.

Los resultados de la experimentación completa con la observación de los 3 prototipos de bebederos apícolas termo solares, comparados con el bebedero testigo, se presenta en las figuras 6 y 7.

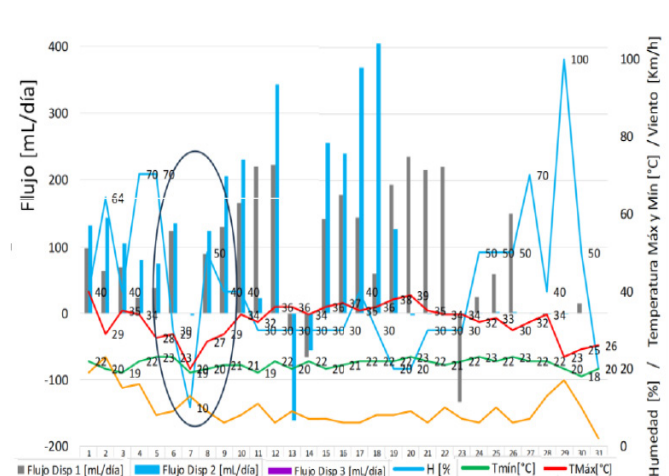


Figura 6.
Volumen de caudal bombeado en el periodo del 16-01-2024 al 15-02-2024 en relación a la temperatura, humedad y velocidad del viento. El flujo o caudal de bombeo del fluido aprovechable (Agua) los prototipos solares térmicos, fue superior al 3 % diario, con un valor de entre 100 y 400 mL/día, con un caudal acumulado total de entre el 93 % y el 97 % del agua disponible —hasta el agotamiento del control—; con una pérdida diaria inferior al 0,26 % y una evaporación acumulada inferior al 3 % durante los 30 días. El control presentó una pérdida diaria del 3,82 %, con una evaporación

total del 99 % (hasta su agotamiento completo).

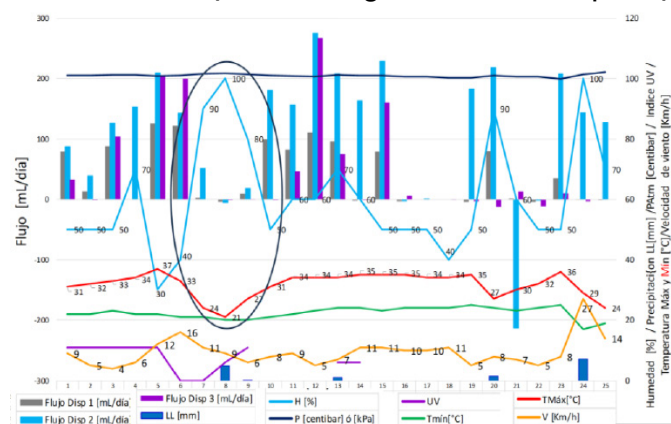


Figura 7.
Volumen de flujo en 3 bebederos en el periodo del 27-02-2024 al 22-03-2024 en relación a la temperatura y la humedad.

Tal como se puede observar en la Figura 8, en el experimento 1, las pérdidas totales de los bebederos 1 y 2 fueron del 2,5 % y el 2,2 %, respectivamente, y el canal capilar de distribución de agua experimentó una pérdida del 8,1 %, atribuida a una menor eficiencia debido a la exposición del agua a la atmósfera (una situación inusual).

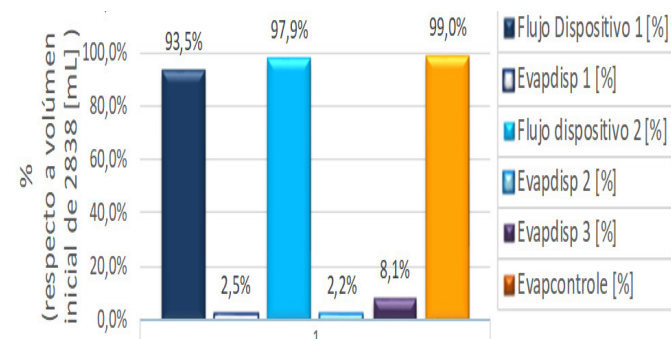


Figura 8.
Caudal de bombeo y evaporación del 16/01/2024 al 15/02/2024 en Yacuiba. Se observa además que el caudal y la evaporación alcanzaron valores similares. La readmisión de agua, al canalizarse hacia el bebedero, tiende a aumentar la autonomía (duración de la carga) y el caudal diario.

DISCUSIÓN

Luego de haber realizado un análisis documental, revisando los artículos científicos publicados por el grupo desarrollador de los prototipos y profundizar la revisión respecto

al funcionamiento de máquinas térmicas, se comprendió que el bebedero apícola termo solar corresponde a una máquina térmica que cumple con el ciclo de Carnot, que funciona de cíclicamente al calentarse y enfriarse el fluido de trabajo (aire) que se expande cuando se calienta (durante el día) y cuando se enfría (por la noche) se comprime, y dado que comparte el depósito con el fluido aprovechable (Agua), Si bien los autores (Rosa Filho, et al, 2022) indican que la oferta máxima de fluido aprovechable se da a medio día, en días calurosos, se observó el bombeo de agua a las 8 de la mañana, un par de horas luego del amanecer.

Los autores también indican que la oferta del fluido aprovechable se incrementa a lo largo del tiempo, esto se debe a que ingresa una mayor cantidad de aire durante la etapa fría (noche), lo cual significa un incremento del fluido de trabajo que se expande y empuja con mayor fuerza al fluido aprovechable agua. Esto significa que los primeros días cuesta poner en funcionamiento a los bebederos apícolas termo solares, donde la cantidad de fluido aprovechable establecido = $\frac{3}{4}$ del volumen del dispositivo (de 3,8 L) se tiene que respetar, para poder iniciar el funcionamiento del bebedero, de otra forma, si se sobre pasa el volumen del fluido aprovechable a más de $\frac{3}{4}$ de 3,8 L significa que demorará varios días en iniciar el funcionamiento del bebedero. Esto se refleja en una práctica del desarrollador (Prof. Osvaldino Rosa Filho), que cuando el prototipo no funcionaba lo introducía en una heladera o freezer y lo que él argumentaba como que el prototipo requería frío, se comprende que significa que, al enfriar el prototipo en un refrigerado, se promoverá el ingreso de una mayor cantidad de fluido de trabajo (aire).

De la Experimentación de los Prototipos de Bebedero Apícola Termo solar. En el Chaco Boliviano se validaron 3 prototipos del bebedero apícola termo solar, en una investigación plasmada en una tesis de maestría, por Claure (2024) a nivel exploratorio y descriptivo, que evidenció el funcionamiento de los prototipos de bebedero apícola termo solar bajo condiciones del chaco boliviano, describiendo también algunos problemas que se identificaron durante

esa investigación, como i) la dificultad de encontrar fuentes oficiales de información sobre variables bioclimáticas en el chaco boliviano., ii) Periodos en los que los prototipos no bombean agua y iii) la posible necesidad de incrementar la recarga de agua.

Una vez que se inicia el funcionamiento del prototipo de bebedero, este continua su funcionamiento en condiciones del chaco boliviano incluso con una amplitud térmica ($T_{\text{Máx}} - T_{\text{mín}}$) de 7°C, pero no funciona cuando esta diferencia de temperatura es de tan sólo 1°C (Donde las temperaturas máxima y mínima fueron de 20 y 19°C). Este es un hallazgo importante, pues el desarrollador del prototipo (Rosa Filho, 2022) no ha mencionado una amplitud térmica mínima para la cual funcionan los prototipos. Un comportamiento similar presenta la evaporación, cuando la amplitud térmica es de 1°C no se observa pérdidas por evaporación. Ver figuras 6 y 8, correspondientes al modelo del comportamiento de los dispositivos 1 y 2 durante el periodo comprendido del 16 de enero al 15 de febrero de 2024. Una situación similar ocurre cuando la amplitud térmica es inferior a 1°C, el bebedero no bombea agua ni presenta pérdidas por evaporación (Ver figura 7 correspondientes a la experimentación de 27 de febrero al 22 de marzo del 2024).

Respecto a la Productividad de los Prototipos de Bebedero Apícola Termo solar, Como es mencionado por el desarrollador del prototipo (Rosa Filho, 2022) el bebedero funciona hasta el agotamiento, hecho que fue observado en las 2 repeticiones del experimento, donde los bebederos logran bombear entre el 93,5% y el 97,9% del fluido aprovechable (Agua), con unas pérdidas de entre el 2,5% hasta el 2,2% en el periodo del 16 de enero al 15 de febrero de 2024 (ver figura 43). Además, en bebederos correctamente ensamblados y con los volúmenes máximos recomendados de agua ($\frac{3}{4}$ de 3,8L), el bombeo diario de agua está entre 100 y 400 [mL/día]. En este sentido, si bien hay un bombeo de casi la totalidad del fluido aprovechable, luego del balance de masa, se observa que queda un pequeño porcentaje de agua en el interior de los bebederos. Este

hecho se puede deber a que el ducto interior no siempre está en contacto con la totalidad del agua disponible cuando esta está en el rango de alrededor de un 4%.

Por otra parte, cuando el prototipo está bien ensamblado y la cantidad de agua no supera los $\frac{3}{4}$ del volumen disponible de 3,8 L (caso del prototipo N° 2, del experimento que tuvo lugar del 27 de febrero al 22 de marzo del 2024, entonces el bebedero bombea el 95,1% y presenta pérdidas por evaporación de 5,1%, lo que da un total de 100,2% que puede deberse al reingreso de agua de lluvia o agua bombeada por el prototipo.

Sobre las Dificultades Identificadas, una dificultad que se observó para el correcto funcionamiento del prototipo corresponde al correcto ensamblado y las condiciones iniciales del llenado del mismo, donde no se debe superar el volumen máximo del fluido aprovechable (Agua) que es de $\frac{3}{4}$ de 3,8 L, tal como lo establece el desarrollador en el esquema de la etiqueta de cada prototipo. Esta dificultad se refiere a que las mangueras deben estar bien encajadas en la válvula correspondiente, caso contrario, no habrá flujo de agua o será mínimo. Por otra parte, hubo ocasiones en las que el agua bombeada no ingresaba al reservorio y debido a que este reservorio no contaba con una jeringa sin embolo, por la cual se pueda desplazar el aire, para dar paso al agua. Cuando el reservorio no tenía la jeringa, el agua bombeada permanecía en la parte superior y rebalsaba/ se evaporaba. El flujo bombeado por el prototipo está en el orden de los 100 y 400 mL por día, que representa poco menos del 10% de lo requerido por una colmena (5 [L/día]) en días de verano del chaco boliviano, por lo que para atender a una colmena el volumen del prototipo debería ser de 38 Litros y para atender a un apiario con 10 colmenas, debería ser de alrededor de 380 Litros, sin embargo, el prototipo presenta pérdidas acumuladas que son bastante pequeñas al ser comparadas con los bebederos tradicionales, por lo tanto, se deberían hacer 2 pruebas en el futuro: i) experimentar el comportamiento del bebedero en condiciones de producción en un apiario de por lo menos una colmena, para establecer la cantidad demandada real de agua, sin contar

con la cantidad perdida por evaporación, para de esta manera determinar el tamaño adecuado del bebedero para producción en apiarios de un tamaño promedio de 10 colmenas.

A partir de los resultados de la experimentación completa con los 3 prototipos y el testigo en funcionamiento, se observan días con flujo negativo y/o evaporación negativa, que se deben a:

- accidentes donde se volcó el recipiente de almacenamiento de fluido y aprovechable bombeado y este reingresó a la cámara de dilatación o
- fallas de medición provocadas por la balanza, o
- recarga de agua de lluvia.

Finalmente, los resultados establecieron que la amplitud térmica actuó en el aumento del bombeo, demostrando la hipótesis de aumento exponencial del caudal reportada por Rosa Filho (2022) - en función del coeficiente de expansión del aire y de su volumen reemplazado en la etapa fría - cesando al final de la primera semana de los experimentos, cuando la diferencia de temperatura durante el período fue inferior a 5° C, como se destaca en una elipse en las figuras 6 y 7. Los valores negativos son atribuibles a fallas técnicas, están bajo revisión y sujetos a repetición.

En síntesis:

i) Las afirmaciones para la deducción del flujo y la evaporación aplicadas establecen una base metodológica formal para los experimentos cuantitativos y la publicación de datos meteorológicos que afectan al sistema.

ii) Los fundamentos teóricos del funcionamiento de los prototipos, entendidos en analogía con las máquinas térmicas y el ciclo de Carnot, consideran la diferencia de temperatura entre las etapas caliente y fría como la principal condición de operación, lo que permite delimitar teóricamente la eficiencia, incluso en ciclos no convencionales. La amplitud térmica y la variación de entalpía (como los períodos lluviosos observados en la Figura 7) demuestran la complejidad de los sistemas naturales, lo que requiere mejores métodos de adquisición y análisis de datos. La humedad relativa no influyó en el flujo.

iii) Se encontró que la cantidad de bombeo (93,5%, 97,9%; equivalente a la evaporación del control de 99,0%, alcanzando volúmenes aproximados en el mismo período. La cantidad que pierde diariamente el control abierto es mayor que toda la pérdida de evaporación de un prototipo en 30 días, es decir, el bebedero termo solar es 30 veces más eficiente que los contenedores abiertos tradicionales - Confirmando así la hipótesis - al lograr un aumento en la productividad apícola, con la reducción de las pérdidas por evaporación y contribución al tiempo de operación de los bebederos termo solares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayuda en Acción (2023). "Apicultura en Bolivia, actividad milenaria para recuperar el bosque del Chaco". Disponible en: <https://ayudaenaccion.org/proyectos/articulos/apicultura-bolivia/> Visitado por última vez el 11 de junio de 2024.

Bronowski, J. (1979). "El Ascenso del Hombre". Fondo Educativo Iberoamericano. LA Jolla, California. Estados Unidos.

Claure, B. (2024). Validación de prototipos de bebederos termo solares para apicultura, con un enfoque de cambio climático, para el contexto del Chaco boliviano. 2024. Tesis de Maestría - UAJMS, Yacuiba, Bolivia.

Costa Souza, D., Rocha, J., Ribeiro de Oliveira T. (2018) "Mortality of Brood Africanized Bees (*Apis mellifera* L.) in the Brazilian Semiarid Caused by the Low Relative Moisture of the Air". Universidad Federal de Piauí, Brasil.

Hernández-Sampieri, et al (2017), Fundamentos de Investigación. Ed. McGraw-Hill Interamericana.

Michels, L., et al. (2025). Bebedero termo solar para apicultura: análisis de su funcionamiento basado en los principios termodinámicos de los motores térmicos. En: ACTAS 11.º SICT-Sul, 11.º, 2022, Criciúma. Actas. Criciúma: IFSC, marzo de 2023. págs. 517-525. ISSN 2526-4044. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1i8YAWcqgDp8AzOsFXQTTErmZna1DIR67/view>. Consultado el: 28 de marzo de 2025.

Nearman, A., & vanEngelsdorp, D. (2022). "Water provisioning increases caged worker bee lifespan and caged worker bees are living

half as long as observed 50 years ago". Scientific reports, 12(1), 18660. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21401-2>

Poot-Báez, V., Medina-Hernández, R., Medina-Peralta, S. et al. (2020). Temperatura intranidal y tamaño corporal de abejas africanizadas bajo olas de calor (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* 51, 382–390 <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00725-5>

Solar, D. (2023) "El Agua en la Región del Chaco boliviano: Luchando contra la sequía". CIPCA Regional Cordillera. Disponible en <https://cipca.org.bo/analisis-y-opinion/cipca-notas/el-agua-en-la-region-del-chaco-boliviano-luchando-contra-la-sequia#:~:text=Las%20particularidades%20del%20clima%20en,comparando%20los%20%C3%BAltimos%2040%20a%C3%B1os> . Consultado el: 4 de abril de 2025.

Rosa Filho, O., et al. (2022) "Bebedero colectivo para abejas con energía solar: Importancia del agua para las abejas". XV Congreso Latinoamericano de Apicultura FILAPI. Cusco, Perú.

Rocha, J., et al. (2017). Mortalidad de crías de abejas africanizadas (*apis mellifera* L.) en el semiárido brasileño causada por la baja humedad relativa del aire. Universidad Federal de Piauí, Brasil.

Torrico, E. (2024) "Metodología de Investigación cualitativa - Investigación Acción" Diapositivas de clases. Doctorado en ciencias. UAJMS. Tarija, Bolivia. Disponible en <https://drive.google.com/drive/folders/1rPwCp0teujcw2mAnr2EKUX30JGC3Y1-T?usp=sharing>, visitadas por última vez el 20 de julio de 2024.

Artículo de Investigación

EVALUACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PARA EL CENTRO DE YACUIBA MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA Y TELEDETECCIÓN CON SIGs

Roger Edwin Espíndola Villanueva

Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”

Facultad de Recursos Naturales y Tecnología

Yacuiba-Bolivia

roger.espindola@uajms.edu.bo

ORCID iD: 0009-0009-6370-202X

Área de investigación: Evaluación ambiental, contaminación acústica, SIG,
Fotogrametría con Drones, Docente Universitario

RESUMEN

Las precipitaciones torrenciales, que superan los 60 mm/hora, provocan inundaciones recurrentes en el centro de la ciudad de Yacuiba, Bolivia, afectando gravemente zonas comerciales como el mercado Lourdes y el mercado Campesino. Este problema se agudiza por la insuficiente capacidad de los canales de desagüe, que actúan como un cuello de botella y elevan rápidamente el nivel del agua. El presente estudio tuvo como objetivo determinar las áreas de inundación y proponer soluciones de mitigación mediante la aplicación de tecnologías geoespaciales. La metodología integró fotogrametría con dron para generar un Modelo de Elevación Digital (DEM), el software Hydrognomon para el cálculo de caudales de diseño a partir de datos de precipitación y los programas HEC-GeoRAS y HEC-RAS para la modelación hidráulica del flujo de agua. Los resultados de la modelación identificaron con precisión las zonas críticas de inundación para diferentes periodos de retorno y confirmaron que el ahogamiento de las secciones de los canales existentes es la causa principal. Se concluye que es imperativo redimensionar los canales de salida, proponiendo secciones con una base mínima de 5 metros y una altura de 1.6 metros, junto con la evaluación de obras complementarias como un canal perimetral y técnicas de manejo de cuenca para la retención de agua en la serranía del Aguaragüe.

Palabras Clave: Inundaciones urbanas, HEC-RAS, Sistemas de Información Geográfica (SIG),

SUMMARY

Torrential rainfall exceeding 60 mm/hour causes recurrent flooding in the downtown area of Yacuiba, Bolivia, severely affecting commercial areas such as the Lourdes and Campesino markets. This problem is exacerbated by the insufficient capacity of the drainage channels, which act as a bottleneck and cause water levels to rise rapidly. This study aimed to determine the flood-prone areas and propose mitigation solutions through the application of geospatial technologies. The methodology integrated drone photogrammetry to generate a Digital Elevation Model (DEM), Hydrognomon software for calculating design flows from precipitation data, and HEC-GeoRAS and HEC-RAS programs for hydraulic modeling of water flow. The modeling results accurately identified critical flood zones for different return periods and confirmed that the choking of existing channel sections is the primary cause. It is concluded that resizing the outlet channels is imperative, proposing sections with a minimum base of 5 meters and a height of 1.6 meters, along with the evaluation of complementary works such as a perimeter channel and watershed management techniques for water retention in the Aguaragüe mountain range.

Keywords. -

Urban flooding, HEC-RAS, Geographic Information Systems (GIS),

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones urbanas constituyen una amenaza creciente, impulsada principalmente por la expansión acelerada de las ciudades y por las alteraciones que la urbanización introduce en el ciclo hidrológico. El aumento de superficies impermeables y la modificación de la red de drenaje natural reducen la capacidad de infiltración del suelo, incrementando el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial. En consecuencia, la magnitud de las crecientes en entornos urbanos está directamente relacionada con el grado de urbanización.



Figura 1. Inundaciones Yacuiba 22 de noviembre de 2022

En América Latina, donde más del 75% de la población reside en áreas urbanas, la vulnerabilidad frente a estos eventos es particularmente alta. La ciudad de Yacuiba, situada en la región del Gran Chaco boliviano, ejemplifica esta problemática. El 22 de noviembre de 2022, una precipitación de alta intensidad y corta duración ocasionó el colapso de la infraestructura urbana en el centro de la ciudad, afectando gravemente la zona del mercado Lourdes y diversos barrios periféricos. El evento provocó el ingreso de agua en viviendas y comercios, arrastre de vehículos y cuantiosos daños materiales.

Este fenómeno se explica por la concurrencia de factores naturales y antrópicos: lluvias torrenciales, tiempos de concentración reducidos asociados a la serranía del Aguaragüe y la limitada capacidad del sistema de drenaje pluvial. La situación se agrava por la paralización del proyecto “Canal de Coronamiento del Aguaragüe”, diseñado para desviar las aguas provenientes de la serranía, lo que dejó a la ciudad sin una obra clave de protección. Actualmente, las secciones hidráulicas existentes presentan estrangulamientos, especialmente en la zona de la terminal de buses, que actúan como cuellos de botella, elevando los niveles de agua y provocando el desbordamiento en áreas comerciales críticas.

la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), técnicas de fotogrametría y modelación hidráulica permite identificar con alta precisión las zonas más vulnerables a inundaciones y, a partir de ello, sustentar propuestas de mitigación técnicamente viables. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es determinar el área de inundación en la ciudad de Yacuiba mediante dichas tecnologías, con el fin de proponer y evaluar soluciones que reduzcan la recurrencia y severidad de estos eventos en el centro urbano.



Figura 2. Inundaciones Mercado Lourdes

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el área de inundación en la ciudad de Yacuiba mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando herramientas como ArcGIS, QGIS y técnicas de fotogrametría para la delimitación de zonas inundables, complementadas con simulaciones hidráulicas en HEC-RAS en el centro urbano, con el propósito de proponer medidas de mitigación adecuadas en el área de influencia de la serranía del Aguaragüe.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener datos demográficos de la zona de estudio.
- Calcular las áreas vulnerables de inundaciones en el centro de Yacuiba
- Determinar la fotogrametría de la zona de la zona de estudio.
- Conocer los peligros y amenazas para saber dónde y cómo afectan las inundaciones.
- Plantear las posibles soluciones para evitar inundaciones en el centro de la ciudad.

1.3. HIPÓTESIS

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), complementada con herramientas de modelación hidráulica y fotogrametría, permitirá identificar con

precisión las zonas más vulnerables a inundaciones en la ciudad de Yacuiba y establecer áreas estratégicas para la evacuación controlada de las aguas pluviales provenientes de las cabeceras de la serranía del Aguaragüe.

Objetivos Específicos	Actividades
➤ Obtener datos demográficos de la zona de estudio	Se descargará imágenes satelitales de la zona de estudio aplicando fotogrametría, Argis y Qgis
• Calcular las áreas vulnerables de inundaciones en el centro de Yacuiba	Con la ayuda del SIG se tendrá el área de inundación, también se realizará la modelación con hec-ras para poder ver el comportamiento de las aguas de lluvias
➤ Conocer los peligros y amenazas para saber dónde y cómo afectan las inundaciones.	Con la modelación sabremos los tirantes de inundación y ver como aumentar las dimensiones de los canales de aguas detrás de la terminal
➤ Plantear las posibles soluciones para evitar inundaciones en el centro de la ciudad	Con los mapas de inundaciones podremos ver la zona mas corta para hacer cruzar las aguas de lluvias hacia la quebrada que se encuentra al frente

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación de tipo descriptiva, cuyo propósito fue caracterizar detalladamente el área de estudio y los procesos involucrados en la identificación de zonas de inundación y el planteamiento de estrategias de mitigación. Para ello, se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección, así como modelos hidráulicos, con el fin de representar espacialmente las áreas vulnerables y evaluar escenarios de riesgo.

2.2. Método

Se adoptó un método inductivo, partiendo del análisis general de los problemas asociados a precipitaciones intensas en la ciudad de Yacuiba, para luego delimitar y analizar específicamente las zonas susceptibles a inundación en el centro urbano. Esta aproximación permitió pasar de observaciones generales a conclusiones particulares sobre las áreas críticas y sus condiciones hidrológicas.

2.3. Enfoque metodológico

El trabajo se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y cuantitativos. La fase cualitativa consistió en la revisión documental, entrevistas a actores locales y observación directa, lo que permitió comprender el contexto y percepciones sobre el problema. La fase cuantitativa incluyó el procesamiento de datos geoespaciales, análisis hidrológico e implementación de modelos hidráulicos para estimar niveles de inundación y áreas afectadas.

2.4. Técnicas e instrumentos

Se aplicaron las siguientes técnicas:

Entrevistas semiestructuradas: dirigidas a residentes y autoridades locales para recabar información cualitativa sobre la frecuencia, magnitud y efectos de las inundaciones.

Observación directa: realizada en puntos críticos del área urbana, identificando obstrucciones en canales de drenaje y deficiencias en salidas de aguas pluviales.

Análisis espacial mediante SIG: utilizando imágenes satelitales, modelos digitales de elevación (MDE) y datos hidrológicos para la delimitación de zonas vulnerables.

Modelación hidráulica: empleando software especializado (por ejemplo, HEC-RAS 2D), integrando datos de topografía, caudales y precipitaciones para simular escenarios de inundación.

2.5. Fuentes de datos

Datos geoespaciales: imágenes satelitales de libre acceso (Sentinel-2 y Landsat 8), Modelo Digital de Elevación (SRTM) y cartografía base.

Datos hidrológicos y pluviométricos: obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y registros locales.

Información primaria: recopilada mediante entrevistas y observación directa en la zona de estudio.

Se implementó una metodología de investigación con un enfoque mixto. La fase cuantitativa se centró en la recopilación y análisis de datos topográficos e hidrológicos para la modelación, mientras que la fase cualitativa incluyó entrevistas en la zona de estudio para comprender la percepción local del problema

3. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se enfocó en la cuenca urbana que drena hacia el centro de la ciudad de Yacuiba, en la provincia del Gran Chaco, Departamento de Tarija, Bolivia. El área de análisis comprende desde las faldas de la serranía del Aguaragüe, que aportan el escurrimiento principal, hasta los canales de desagüe ubicados en la zona de la terminal de buses, punto crítico del sistema de drenaje. El proyecto conocido como Canal de Coronamiento del Aguaragüe se empezó a construir en la gestión 2012, el plan consistía en líneas generales en captar todas las aguas que bajan de la parte de la serranía que colinda con la ciudad, para hacerlas desembocar a la “Quebrada Internacional”, que divide Yacuiba de Salvador Mazza por un drenaje que iría por debajo de las calles, lo que generó una oposición fundada en la falta de socialización y en el destrozo que se debía de hacer en el centro de la ciudad con la colocación de un drenaje pluvial.

Al quedar sin efecto alguno el mencionado proyecto de Canal de Coronamiento del Aguaragüe, actualmente la

ciudad de Yacuiba se encuentra totalmente desprotegida contra cualquier inundación cuando se de lluvias torrenciales de más 60 mm/hora de precipitación, lo que afecta de sobre manera el centro de la ciudad y toda el agua se estrangula en la inmediaciones de la zona de la terminal debido a que las secciones de los canales de desagüe son muy pequeñas y funciona como un cuello de botella haciendo aumentar el tirante agua arriba lo que sube inmediatamente la cota de inundación y el agua de lluvia ingresa a los locales céntricos como ser el mercado Lourdes y calles aledañas



Figura 3. Zona de estudio

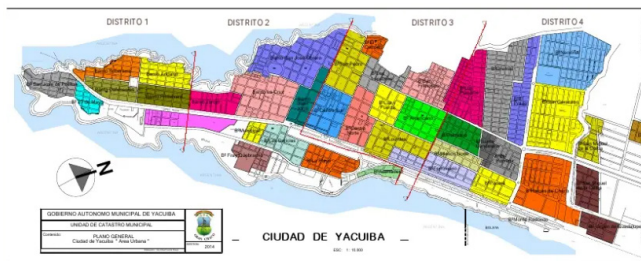


Figura 4. Ubicación del Municipio de Yacuiba

Fuente: <https://granchaco.gob.bo/mapas-urbanos/>

Se tiene la información con la ayuda de sistemas de información geográfica y vuelos fotogramétricos con dron, donde se estableció de manera precisa las zonas propensas a inundaciones y con la modelación hidráulica

se identificó las zonas con mayor riesgo para una evaluación y proponer la canalización de las aguas de lluvia en la zona alta al ingreso de las agua de lluvia a la ciudad por la calles de la ciudad de Yacuiba, realizando la intervención en la zona alta y dirigiendo las aguas por el perímetro de la ciudad hasta cruzar por la parte más angosta que sale más debajo de la gobernación, con esto se permite evacuar correctamente las aguas de lluvia, de manera más segura sin necesidad de hacer demoliciones en el centro de la ciudad de Yacuiba.

Por otra parte, se debe ampliar las secciones de los canales que se encuentran detrás de la terminas de buses para evitar que las aguas debido al gran caudal que tiene lo que hace que se llenen muy rápidamente elevando el tirante de agua en el centro de la ciudad ocasionando inundaciones en las calles



Figura 5. Sección de canal muy reducido

4. RECOPIACIÓN DE DATOS

Para el análisis hidrológico, se utilizaron los registros de precipitación máxima diaria en 24 horas de la estación meteorológica "Itau", proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se dispuso de una serie de datos de 19 años, desde el año 2000 hasta 2019, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos hidrológicos

HIDROLOGIA													
PRECIPITACION (mm)													
ESTACION	ITU		LAT.		21°71'41"								
PROVINCIA	GRAN CHACO		LONG.		63°86'86"								
DEPARTAMENTO	TARIJA		ALTURA		970 m.s.n.m.								

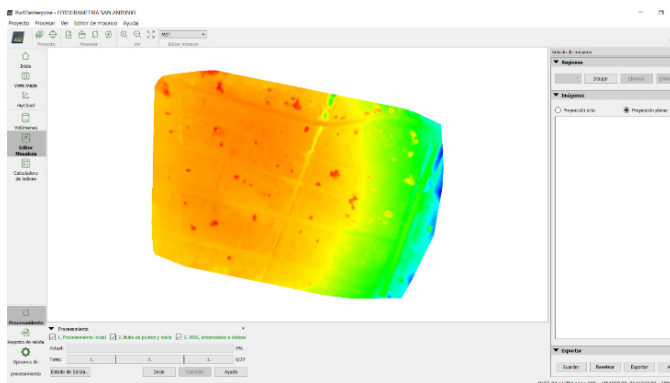
PRECIPITACION MAXIMA DIARIA 24 HR. (mm)													
Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	Total
2000	37.0	38.0	47.0	22.0	15.0	19.0	18.2	0.0	0.0	10.0	52.0	55.0	55.0
2001	60.0	48.0	37.0	20.5	8.5	10.5	2.7	0.0	15.0	30.3	31.8	25.0	60.0
2002	77.5	55.3	78.1	10.5	4.5	3.0	3.5	0.0	2.0	69.6	26.0	60.0	78.1
2003	33.1	60.7	80.3	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	30.1	67.0	80.3
2004	67.5	58.0	70.9	18.0	20.1	5.0	0.0	0.0	0.0	22.5	36.5	23.3	70.9
2005	71.0	37.0	40.0	70.0	6.4	13.0	1.5	0.0	4.0	15.0	40.0	60.0	71.0
2006	60.0	52.0	104.0	65.0	4.0	10.0	0.0	1.0	0.0	67.0	30.0	36.0	104.0
2007	52.0	26.0	14.0	20.0	7.0	2.0	2.0	2.0	0.0	40.0	11.3	44.6	52.0
2008	27.7	67.5	40.1	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	23.2	7.0	67.5
2009	46.2	71.0	104.6	21.5	13.5	0.0	0.0	0.0	6.0	13.0	86.0	56.0	104.6
2010	34.0	26.0	17.0	23.0	5.9	3.2	0.0	9.3	12.9	11.0	3.1	20.0	34.0
2011	79.4	272.5	153.6	33.5	7.6	12.0	14.0	0.0	4.0	34.0	69.4	155.5	272.5
2012	163.1	95.7	112.0	79.1	18.6	8.2	2.4	0.0	0.0	33.0	89.8	12.8	163.1
2013	208.6	129.0	61.6	7.1	13.1	13.7	0.0	8.4	8.3	35.7	33.4	486.8	518.9
2014	586.3	504.8	234.4	76.0	65.0	###	16.7	0.0	13.0	26.0	60.5	46.0	586.3
2015	215.0	110.0	91.6	193.0	48.0	46.0	0.0	10.0	5.0	27.0	57.0	92.0	215.0
2016	134.0	181.2	77.0	34.0	50.0	20.0	6.0	0.0	32.0	56.0	88.0	89.0	181.2
2017	198.0	216.0	57.3	141.0	41.5	8.0	0.0	0.0	16.0	44.0	33.0	187.8	216.0
2018	403.3	88.6	207.0	25.0	29.0	3.0	11.0	0.0	3.0	77.5	115.0	151.0	403.3
2019	211.5	179.0	250.0	102.0	49.0	22.0	44.3	0.0	3.0	36.0	57.0	136.4	250.0

Fuente: Senanni 2025

5. FOTOGRAMETRÍA Y GENERACIÓN DEL DEM

Se planificó una misión de vuelo sobre el área de estudio utilizando la aplicación DroneDeploy. El vuelo se ejecutó con un dron Phantom 4 Pro a una altura de 99 metros, capturando 99 imágenes con una sobreposición del 75% horizontal y 65% vertical.

Las imágenes georreferenciadas fueron procesadas con el software Pix4D. Este proceso incluyó la alineación de imágenes, la generación de una nube de puntos densa y, finalmente, la creación de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de alta resolución y un ortomosaico del área de estudio. El DEM fue el insumo principal para la extracción de perfiles del terreno y la modelación hidráulica. La Figura 6 muestra el DEM obtenido.

**Figura 6. Modelo de Elevación Digital DEM**

6. ENTREVISTAS Y PERCEPCIÓN LOCAL

Para complementar el análisis técnico, se realizaron

entrevistas a los habitantes de la zona afectada. Se calculó un tamaño de muestra de 120 familias a partir de una población de 900 familias en el Barrio Aserradero. El objetivo fue recopilar información cualitativa sobre la frecuencia de las inundaciones, los daños económicos y la percepción sobre la efectividad de las infraestructuras existentes.

6.1. Muestra

Para el tamaño de la muestra utilizamos la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Población

Z = Nivel de confianza para un 95% de confianza es de 1.96

E = Error máximo admisible

p = Probabilidad de éxito

q = Probabilidad de fracaso

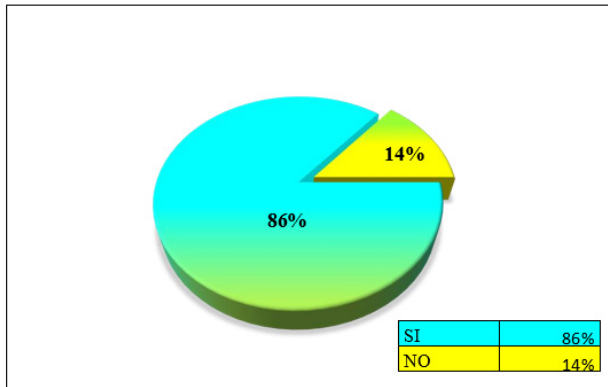
$$n = \frac{900 * 1,96^2 * 0,9 * 0,10}{(900 - 1) * 0,05^2 + 1,96^2 * 0,9 * 0,10}$$

n = 119,99

n = 120 Familias

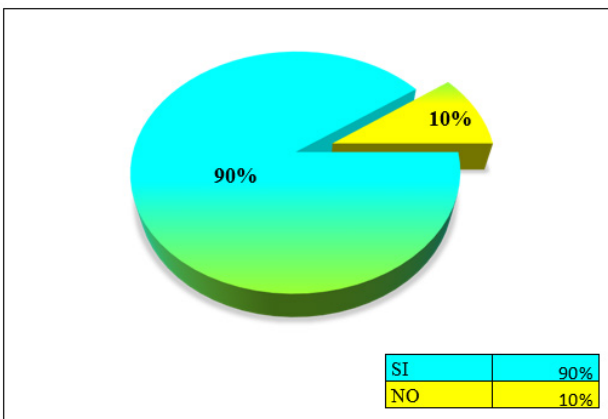
6.2. Análisis y Resultados de las entrevistas

¿Usted en su zona se ve afectado en las épocas de lluvias intensas?



Las familias del barrio Aserradero y zona mercado Lurdes, en su mayoría (86%) indican que se ven afectados por las fuertes lluvias que desbordan los canales que están ubicados en la zona, el (14%) de las familias indican que su zona no se ve afectados por las lluvias intensas de la época debido a que se encuentran más alejadas de la zona vulnerables a las inundaciones (canales de desagüe).

¿Cuándo se precipitan lluvias intensas, el agua ingresa a su domicilio?



En un (90%) de las familias del barrio Aserradero indican que ingresa agua a sus domicilios ya sea por el desborde de los canales o por las infraestructuras de sus domicilios las cuales se ven afectadas por las lluvias, el (10%) de las familias que se encuentran en las zonas alejadas a los desbordes de agua indican que su domicilio no se ve afectado por las lluvias.

7. MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

1. Procesamiento en SIG: Utilizando las herramientas de hidrología de ArcGIS 10.8 sobre el DEM, se delimitó automáticamente la cuenca de aporte y se extrajo la red hídrica principal que atraviesa la ciudad.

2. Cálculo de Caudales de Diseño: Los datos de precipitación de la Tabla 1 fueron introducidos en el software Hidrognomon. Se realizó un análisis de frecuencia aplicando la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y se seleccionó la distribución de probabilidad Log Pearson III para estimar los caudales máximos de diseño (Q) para diferentes periodos de retorno (PR) de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

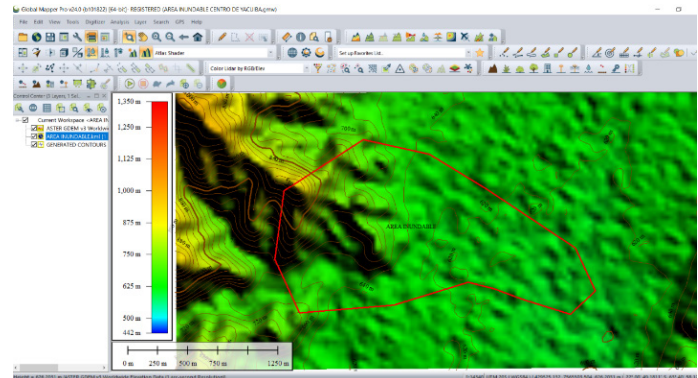
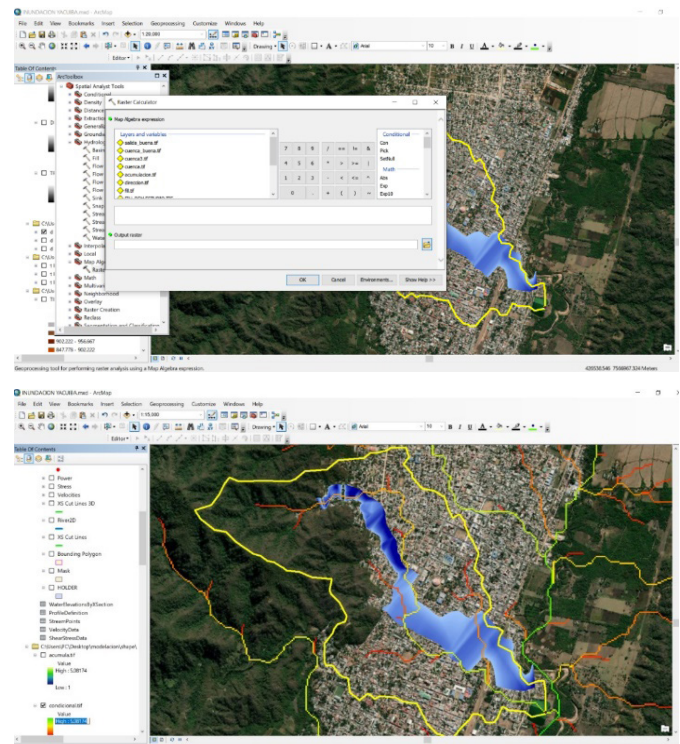


Figura 7. Delimitación de la micro cuenca:



3. Pre-proceso para HEC-RAS: Se utilizó la extensión HEC-GeoRAS en ArcGIS para preparar la geometría del modelo hidráulico. Sobre el DEM, se digitalizaron el eje del cauce (River Centerline), las orillas del canal principal (Banks), las líneas de flujo preferencial (Flowpaths) y se generaron las secciones transversales (Cross Sections) a una distancia de 50 metros entre sí.

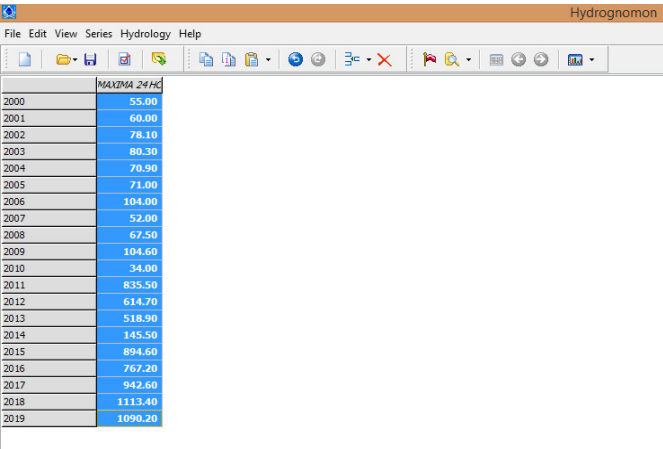


Figura 8. Diagrama de barras de las precipitaciones

4. Modelación en HEC-RAS: La geometría creada en HEC-GeoRAS fue importada al software HEC-RAS 5.0.7. Dentro de HEC-RAS, se completó el modelo introduciendo los datos de flujo (los caudales de diseño calculados) y las condiciones de contorno (profundidad normal, usando la pendiente del terreno). Se asignaron coeficientes de rugosidad de Manning (n) de 0.035 para el canal principal revestido y 0.045 para las llanuras de inundación (calles y terrenos aledaños). Finalmente, se ejecutó la simulación en régimen de flujo permanente (Steady Flow) para cada periodo de retorno.

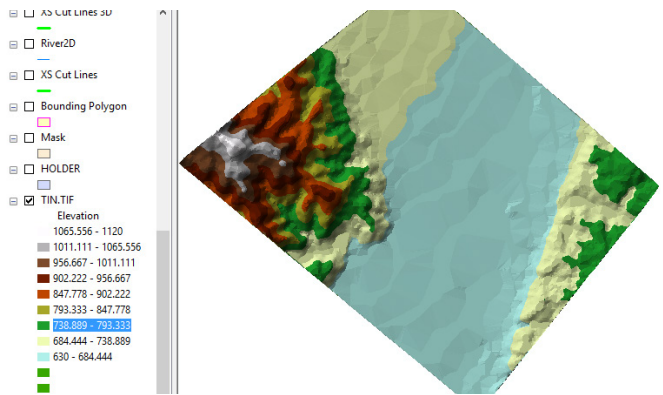


Figura 9. Modelo digital Terrain Modelo (Mdt) en forma de TIN o GRID

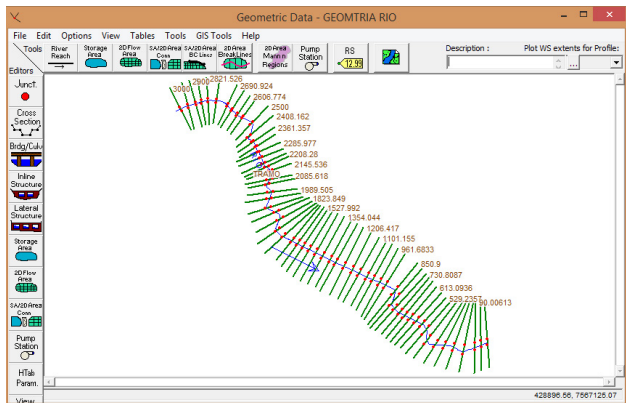


Figura 10. Procesamiento en HEC-RAS

5. Post-proceso y Mapeo de Inundación: Los resultados de la simulación (calados y extensión del agua) fueron exportados desde HEC-RAS de vuelta a ArcGIS. Utilizando las herramientas de HEC-GeoRAS, se generaron los polígonos de la mancha de inundación, los cuales fueron superpuestos sobre el ortomosaico de la ciudad para una fácil visualización y análisis de las áreas afectadas.

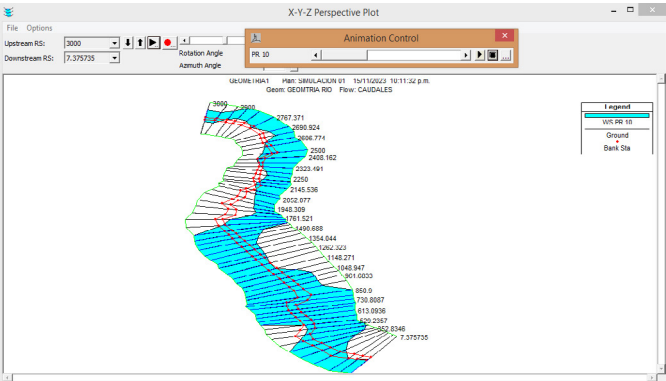


Figura 11. Modelamiento Hidráulico

Tabla 2. Parámetros el cálculo de caudales.

Kolmogorov - Smirnov					
Kolmogorov-Smirnov test for All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained	Dmax
Exponential	ACCEP T	ACCEP T	ACCEP T	11.22%	0.25
Gamma	ACCEP T	ACCEP T	ACCEP T	10.11%	0.26
EV3-Min (Weibull)	ACCEP T	ACCEP T	REJEC T	9.09%	0.26
Log Pearson III	ACCEP T	ACCEP T	ACCEP T	37.24%	0.19
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	2.56%	0.32
EV1-Min (Gumbel)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	1.40%	0.34
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	1.35%	0.34
Normal (L-Moments)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	3.67%	0.30
GEV-Max (L-Moments)	ACCEP T	ACCEP T	REJEC T	9.40%	0.26
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEP T	ACCEP T	ACCEP T	25.83%	0.21
GEV-Max (kappa specified)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	4.52%	0.29
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEP T	ACCEP T	REJEC T	9.33%	0.26
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEP T	ACCEP T	REJEC T	8.12%	0.27
GEV-Min (kappa specified)	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	3.16%	0.31
Normal	ACCEP T	REJEC T	REJEC T	4.71%	0.29
Galton	ACCEP T	ACCEP T	REJEC T	7.85%	0.27
Exponential (L-Moments)	ACCEP T	ACCEP T	ACCEP T	21.97%	0.22

Después de definir el alcance del análisis, todo listo para mapear la extensión de la inundación. se hace clic en RAS Mapping/Inundation Mapping/ Water Surface Generation. Seleccione PR 10 PR 50 PR 100 años y clic en Aceptar.

Esto creará una superficie con elevación de la superficie del agua para el perfil seleccionado. El TIN que se crea en este paso definirá una zona que conectará los puntos exteriores del polígono delimitador, lo que significa que el TIN.

El área con resultados positivos (es decir, la superficie del agua es más alta que el terreno) es el área de inundación, y el área con resultados negativos está seca. Todas las celdas en la cuadrícula de la superficie del agua que dan como resultado valores positivos después de la resta se convierten a un polígono, que es el polígono de inundación final de inundación.

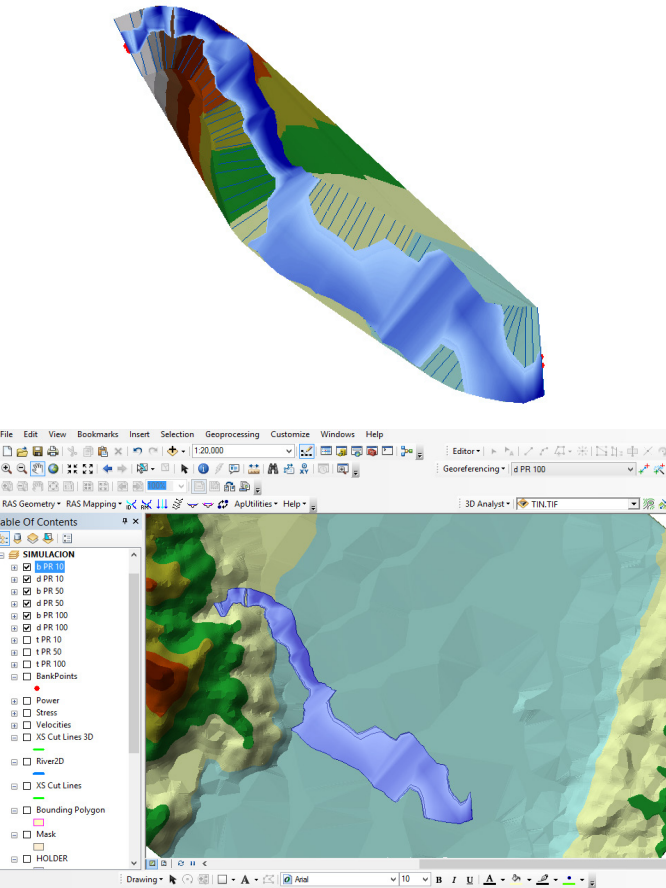


Figura 12. Procesamiento de áreas de Inundaciones en el Centro de la Ciudad de Yacuiba

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Los resultados de las entrevistas confirmaron la gravedad del problema. El 86% de los encuestados afirmó verse afectado por las lluvias, y un 90% reportó que el agua ingresa a sus domicilios. Un 89% de las familias sufre pérdidas económicas debido a las inundaciones. Es de destacar que el 93% de los encuestados considera necesario aumentar la sección de los canales de desagüe, lo que demuestra una clara conciencia sobre la insuficiencia de la infraestructura actual.

8.2. Caudales de diseño

El análisis hidrológico en Hidrognomon arrojó los caudales máximos de diseño que el sistema de drenaje debería ser capaz de manejar. La Tabla 3 resume los resultados para los periodos de retorno más significativos para obras de drenaje urbano.

TABLA 3. caudales de diseño calculados para la cuenca (fuente: elaboración propia con hidrognomon)

PR (Años)	Q (m³/s)
10	908
25	1100
50	1223
100	1335

Fuente: Elaboración propia 2025 con Hidrognomon

8.3. Mapas de inundación

La modelación hidráulica generó los mapas de la mancha de inundación para cada caudal de diseño. La Figura 3 muestra el resultado de la simulación para un periodo de retorno de 100 años. El mapa delimita con precisión las áreas que se verían anegadas, observándose una afectación crítica en la zona central de Yacuiba, coincidiendo con los reportes de eventos pasados y la percepción de los habitantes

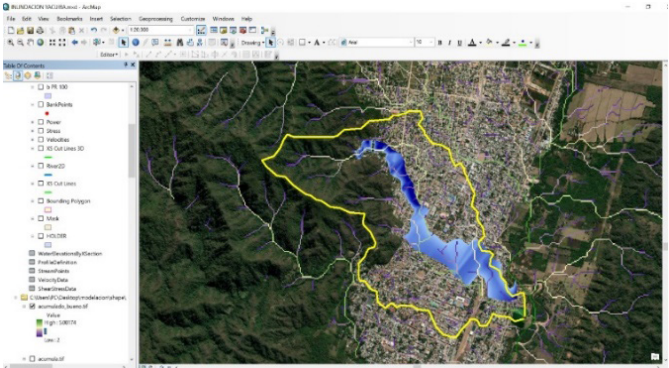


Figura 13. Resultado de la Modelación de Inundación en Zona Central de Yacuiba

8.4. Estado actual de la infraestructura y propuesta técnica

El análisis de los perfiles hidráulicos en HEC-RAS (Figura 14) confirmó que los canales existentes son el punto de falla del sistema. Las dimensiones actuales, con bases de hasta 1.20 metros y alturas de 1.10 metros, son insuficientes, provocando el desbordamiento.

Figura 14. Visualización del flujo modelado en HEC-RAS para un PR de 50 años, mostrando el nivel del agua

superando la capacidad del canal

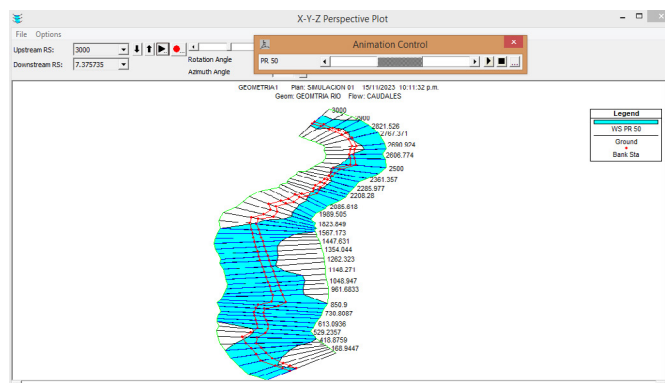
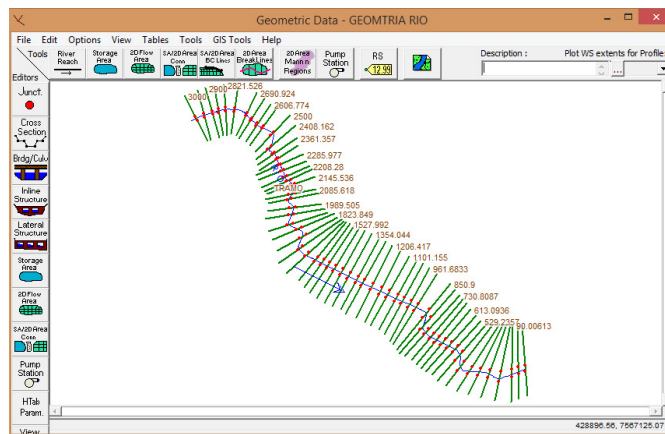


Figura 14. Flujo de agua para un periodo de retorno de 50 años

Con base en este diagnóstico, se detallan las siguientes alternativas de solución:

- **Alternativa 1: Ampliación de las Secciones de los Canales.** Es la solución correctiva principal. Se propone aumentar las dimensiones de los 5 canales de salida sobre la avenida Bolivia. Los cálculos de dimensionamiento indican la necesidad de una sección trapezoidal con una base de 5 metros, una altura de 1.6 metros y taludes de 1 a 1.5. La Figura 5 muestra una comparativa entre la sección actual y la propuesta para uno de los canales.

Cálculos realizados para ampliar los canales

Para obtención del caudal se realizó los siguientes cálculos considerando un canal rectangular respecto a las entradas al canal.

Donde:

n: Coeficiente de rugosidad

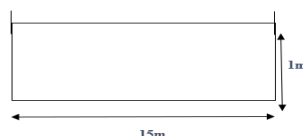
Q: Caudal

R: Radio hidráulico

S: Pendiente

A: área

Perímetro mojado



Datos:

n: 0.013

b: 15m (ancho de la calle)

y: 1m (Altura de inundación)

s: 0.001 (tomando en cuenta la altura del agua)

Cálculo del área

$$A=b*y$$

$$A=15*1$$

$$A=15m^2$$

Cálculo del perímetro mojado

$$PM=b+2y$$

$$PM=15+2*(1)$$

$$PM=17 m$$

Cálculo del radio hidráulico

$$Rh=A/PM$$

$$Rh=15/17$$

$$Rh=0.88m$$

Cálculo del caudal

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

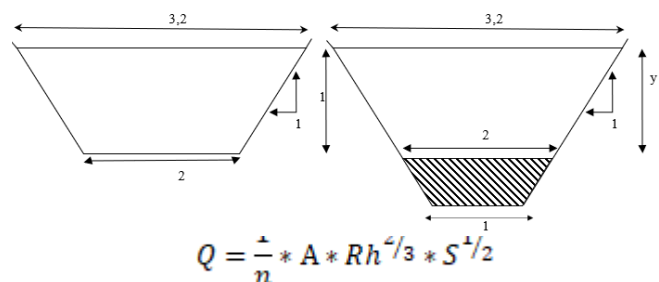
$$Q = \frac{1}{0.013} * 15 * 0.88^{2/3} * 0.001^{1/2}$$

$$Q = 33.50 \text{ lt / seg}$$

Habiendo obtenido el dato del caudal realizamos los siguientes cálculos en base a la consigna:

Se tiene un canal trapezoidal de 3.20m de espejo de agua y 2m de ancho de solera, talud Z=1 Y un coeficiente de rugosidad de 0.025, la capacidad del canal es de 33.50 l/seg. Calcular cuánto habría que profundizar el canal conservando el mismo espejo de agua y taludes para aumentar su capacidad en un 20%.

Dimensionamiento del canal de salida de aguas de lluvias



Datos:

T: 3.20 m

b: 2 m

n: 0.025

Q: 33.50 l / seg

Donde:

T: Espejo de agua

b: Solera (base del canal)

n: coeficiente de rugosidad del canal

Q: Caudal

Cálculo del porcentaje del Caudal

$$Q = 30.50 \frac{l}{seg} * \left(\frac{1m^3}{1000 l} \right)$$

$$Q = 0.0305 m^3/seg$$

Incrementando un 20% = 0.0061

Lo cual sería = 0.305 + 0.0061

Q(Incrementado) = 0.366 l/seg

Cálculo de Y^1

$$Y^1 = \frac{T - b}{2}$$

$$Y^1 = \frac{3.20 - 2}{2}$$

$$Y^1 = 1.60m$$

Cálculo del área

$$A = by + Zy^2$$

$$A = 2 * (0.60) + 1 * (0.60)^2$$

$$A = 1.56 m^2$$

Cálculo de Perímetro Mojado

$$PM = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$PM = 2 + 2(0.60)\sqrt{1 + 1^2}$$

$$PM = 3.69 m$$

Cálculo del Radio Hidráulico

$$Rh = \frac{A}{PM}$$

$$Rh = \frac{1.56}{3.69}$$

$$Rh = 0.42 m$$

Cálculo de la pendiente

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

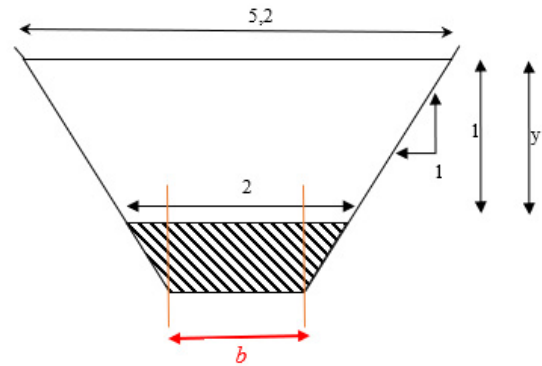
DESPEJANDO "s"

$$S = \left(\frac{Q * n}{A * Rh^{2/3}} \right)^2$$

$$S = \left(\frac{0.0305 * 0.025}{1.56 * \left(\frac{1.56}{3.69} \right)^{2/3}} \right)^2$$

$$S = 0.2385$$

Cálculo de Y^1



$$Y_t = Y_1 + Y$$

$$Y_t = 0.60 + Y$$

$$b = 2 + y + y$$

$$b = 2 + 2y$$

Iterando la base nos da un resultado de 4 metros como base para una altura de 2m.



Figura 15. Propuesta de Aumento de Sección en un Canal Crítico, en rojo la sección propuesta



• **Alternativa 2: Construcción de un Canal Perimetral.**

Esta solución de desvío consiste en construir un canal en las afueras de la ciudad para interceptar el agua de la serranía y conducirla directamente a la quebrada, evitando su paso por la zona urbana. Se estima una longitud de 2.6 km de canal a cielo abierto y 750 metros de tubería de hormigón para el cruce final.



Figura 16. Trazado Propuesto para el Canal Perimetral (línea celeste)

Alternativa 3: Manejo e Intervención de la Cuenca Alta. Esta es una solución preventiva y sostenible. Consiste en realizar obras de ingeniería hidráulica a pequeña escala en la cabecera del Aguaraquí para retener el agua, disminuir el caudal pico y fomentar la infiltración. Las obras incluyen la construcción de zanjas de infiltración y pequeños diques de contención para crear humedales artificiales, lo que además garantizaría la recarga hídrica para los acuíferos de la zona.



Figura 17. Ejemplo de Obras de Contención para el Manejo de Cuenca

Será de mucha importancia realizar la cosecha de agua en las cabeceras del aguaraquí especialmente la red hídrica que está en dirección de las calles que bajan al centro de la ciudad de Yacuibá, con obras de contención de agua se podrá disminuir la cantidad de agua que baja al centro además podremos generar acumulación de agua para recarga hídrica para que por infiltración tengamos las aguas subterráneas recargadas para dotar de agua a los barrios que están en las faldas del cerro como ser barrio Nacional y Barrio 12 de Agosto.



Figura 18. Obras de Contención para el Manejo de Cuenca

9. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación confirman de manera cuantitativa lo que la experiencia y la percepción ciudadana indicaban: el sistema de drenaje pluvial de Yacuibá es incapaz de gestionar eventos de lluvia intensa. La modelación hidráulica no solo validó la hipótesis inicial, sino que también permitió dimensionar la magnitud del problema, identificando el “ahogamiento” de los canales de la zona de la terminal como el principal factor causante de las inundaciones.

La concordancia entre los mapas de inundación generados (Figura 13) y los reportes de eventos reales otorga una alta fiabilidad al modelo y lo convierte en una herramienta robusta para la planificación urbana y la gestión del riesgo. Esto es crucial, ya que permite pasar de soluciones reactivas y a menudo improvisadas, a intervenciones planificadas basadas en evidencia técnica.

Al evaluar las alternativas propuestas, se observa un abanico de posibilidades con distintos enfoques, costos y plazos de implementación. La ampliación de los canales existentes (Alternativa 1) es la medida más urgente y directa. Ataca el problema en su punto más crítico y ofrecería un alivio significativo a corto plazo. Su ejecución, como señala el estudio, podría ser asumida por la propia municipalidad para reducir costos.

El canal perimetral (Alternativa 2) es una solución de mayor envergadura y costo, pero que resolvería el problema de manera definitiva al desviar gran parte del caudal fuera de la zona urbana. Su implementación requeriría estudios de factibilidad más detallados y probablemente un proceso de licitación. Finalmente, el manejo de la cuenca (Alternativa 3) representa el enfoque más moderno y sostenible, alineado con las “Soluciones Basadas en la Naturaleza”. Aunque sus efectos sobre la reducción de caudales pico pueden ser más graduales, ofrece cobeneficios invaluable como el control de la erosión, la mejora de la biodiversidad y, fundamentalmente, la recarga de acuíferos, lo cual es vital para la seguridad hídrica de los barrios altos como Nacional y 12 de agosto.

La estrategia de gestión más resiliente y eficaz no sería elegir una única solución, sino combinarlas. Se podría implementar la Alternativa 1 como medida de emergencia para resolver el problema actual, mientras se planifica y ejecuta a mediano y largo plazo la Alternativa 3 para reducir la vulnerabilidad futura y aumentar la sostenibilidad del sistema hídrico de la región. Este estudio, por lo tanto, provee a las autoridades locales de una hoja de ruta técnica para abordar el problema de las inundaciones de manera integral.

Los resultados obtenidos en la ciudad de Yacuiba son consistentes con experiencias documentadas en otras urbes latinoamericanas que enfrentan problemáticas similares vinculadas a la insuficiencia de sistemas de drenaje frente a eventos de lluvia extrema. En ciudades como Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), Trujillo (Perú) y Medellín (Colombia), estudios recientes también han confirmado, mediante modelación hidráulica y análisis SIG, la incapacidad de la infraestructura pluvial existente para manejar caudales de diseño superiores a los previstos originalmente, lo que se traduce en inundaciones recurrentes en zonas urbanas densamente pobladas.

En Santa Cruz de la Sierra, por ejemplo, la investigación de Gutiérrez et al. (2021) aplicó HEC-RAS 2D y concluyó que los puntos críticos correspondían a intersecciones donde los canales pluviales son insuficientes y presentan obstrucciones por falta de mantenimiento. Al igual que en Yacuiba, se propusieron medidas estructurales inmediatas como la ampliación de canales y la instalación de rejillas de captación, en paralelo con estrategias a largo plazo basadas en la gestión integral de cuencas y áreas verdes periurbanas para reducir el caudal de entrada a la zona urbana.

Por su parte, en Trujillo (Perú), el estudio de Martínez y colaboradores (2020) evidenció que la implementación de canales perimetrales resultó una solución efectiva para desviar caudales provenientes de zonas altas hacia colectores externos, mitigando inundaciones en el centro urbano. Sin embargo, el costo elevado y los tiempos de ejecución prolongados fueron señalados como limitantes, por lo que se recomendó combinar esta solución con proyectos de retención en cabeceras y zonas agrícolas mediante reservorios y prácticas de conservación de suelos.

En el caso de Medellín, la estrategia adoptada se alineó con el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), priorizando la reforestación de microcuencas, la creación de corredores verdes y la implementación de parques inundables que actúan como áreas de almacenamiento temporal durante eventos extremos (Restrepo et al., 2019). Si bien sus efectos fueron graduales, se observó una disminución significativa en el caudal pico y un incremento en la resiliencia urbana frente al cambio climático.

La comparación evidencia que, tanto en Yacuiba como en las ciudades mencionadas, las soluciones más efectivas han resultado ser combinadas: medidas estructurales inmediatas para atender la urgencia (p. ej., ampliación de canales), acompañadas por intervenciones de mediano y largo plazo que integran manejo de cuencas y SbN. Este enfoque híbrido no solo reduce la vulnerabilidad a inundaciones, sino que también genera beneficios ambientales y sociales, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica urbana.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aranda, J. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Campos, D. (1999). *Hidrología superficial: fundamentos y aplicaciones en ingeniería civil*. Limusa. México.
- Castro, F., & Carrasco, C. (2011). *Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental del río Cali*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Chow, V. T., & Saldarriaga, J. G. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá.
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. The World Bank.
- Llavel, A. (2000). *Introducción a la hidrología: aplicaciones en la gestión del recurso hídrico*. Editorial Universitaria.
- May, P. (1998). *Urban stormwater management: Planning and design*. Springer.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices*. Prentice Hall.
- Tucci, C., & Bertoni, J. (2006). *Gestión de inundaciones urbanas*. Organización Meteorológica Mundial.
- World Meteorological Organization, & UNESCO. (2013). *International glossary of hydrology (3rd ed.)*. WMO & UNESCO.
- Restrepo, I., Vélez, J., & Montoya, E. (2019). *Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del riesgo de inundaciones en entornos urbanos*. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23(44), 45-58. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.sbnr>
- Gutiérrez, L., Ramírez, P., & Flores, A. (2021). *Evaluación del riesgo de inundaciones mediante modelación hidráulica en áreas urbanas: Estudio de caso en Santa Cruz de la Sierra*. *Revista de Ingeniería Civil*, 18(2), 87-99.
- Martínez, R., Torres, F., & Castillo, J. (2020). *Diseño y evaluación de canales perimetrales como solución para inundaciones urbanas: Caso Trujillo, Perú*. *Revista de*

Artículo de Investigación

Fenotipado digital y caracterización agronómica de diez líneas avanzadas de Quinoa Tropical (*Chenopodium quinoa willd*) en Algarrobal municipio de Yacuiba

“Digital phenotyping and agronomic characterization of ten advanced lines of tropical quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) in Algarrobal, Yacuiba municipality”

Rivera Cortez Cristian¹ ORCID: 0009-0002-9894-8977, Herbas Meneses José Gonzalo² ORCID: 0000-0001-8283-3150

¹ Investigador junior, ² Ingeniero Agrónomo, Docente Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología-Carrera de Ingeniería Agronómica

Correspondencia del autor principal (es): cristianriverac2@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la técnica de fenotipado digital y caracterizar agronómicamente diez líneas avanzadas de quinoa tropical (*Chenopodium quinoa Willd.*) en condiciones del algarrobal del municipio de Yacuiba en el Chaco Tarijeño durante la campaña 2024. El estudio se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, evaluando variables fenológicas, morfológicas y de rendimiento, tanto mediante métodos convencionales como a través del fenotipado digital con el software Digimizer. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre las líneas evaluadas. En cuanto a variables fenológicas, la línea L-199 Lila Claro 2 destacó por su precocidad al alcanzar la madurez fisiológica en menor tiempo, mientras que L-333 Amarillo 2 sobresalió en rendimiento con 1085,71 kg/ha, confirmando su potencial productivo en ambientes cálidos. A nivel morfológico, T4 presentó la mayor longitud de panoja y diámetro de tallo, atributos asociados con mayor vigor y resistencia al acame. El peso de 1000 granos varió entre 3,5 y 5,08 g, dentro del rango reportado para líneas tropicales, lo que respalda la estabilidad de calidad del grano. Respecto al contenido de saponina, todas las líneas se clasificaron como amargas, con valores entre 2,57 y 5,74 %. El fenotipado digital mostró alta concordancia con los datos convencionales para altura de planta, longitud de panoja y diámetro de tallo, validando su precisión y utilidad como complemento metodológico. Además, permitió medir el área foliar, variable que no se registró mediante métodos tradicionales y que constituye un indicador relevante de la capacidad fotosintética. Estos hallazgos confirman que la integración de herramientas digitales aporta objetividad, rapidez y respaldo visual al proceso de caracterización de genotipos. En síntesis, la combinación de métodos convencionales y digitales permitió identificar líneas con mayor adaptabilidad y potencial de rendimiento para condiciones agroclimáticas del municipio de Yacuiba, respondiendo a la hipótesis de que existen diferencias significativas entre genotipos. Los resultados generan un aporte valioso para futuros programas de mejoramiento

genético orientados a la selección de materiales tropicales de quinoa, contribuyendo a la diversificación agrícola y a la seguridad alimentaria regional.

Palabras clave: Quinoa tropical, fenotipado digital, caracterización morfológica.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate digital phenotyping and agronomically characterize ten advanced lines of tropical quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) under the agroclimatic conditions of Algarrobal, Yacuiba municipality, Tarija Chaco, during the 2024 growing season. The study was conducted using a randomized complete block design with three replications, assessing phenological, morphological, and yield-related variables through both conventional methods and digital phenotyping with Digimizer software. Results revealed significant differences among the evaluated lines. Regarding phenological traits, the line L-199 Light Purple 2 stood out for its earliness by reaching physiological maturity faster, while L-333 Yellow 2 excelled in yield with 1085.71 kg/ha, confirming its productive potential under warm environments. Morphologically, T4 showed the greatest panicle length and stem diameter, traits linked to vigor and lodging resistance. The thousand-kernel weight ranged from 3.5 to 5.08 g, consistent with reported values for tropical lines, supporting grain quality stability. As for saponin content, all lines were classified as bitter, with values between 2.57 and 5.74 %, indicating the need for desaponification processes for human consumption. Digital phenotyping showed strong agreement with conventional measurements for plant height, panicle length, and stem diameter, validating its precision and usefulness as a methodological complement. Moreover, it allowed the measurement of leaf area, a variable not captured by traditional methods and a key indicator of photosynthetic capacity. These findings confirm that integrating digital tools provides objectivity, speed, and visual support to genotype characterization. In summary, the combination of conventional and digital methods made it possible to identify lines with greater adaptability and yield potential in the Tarija Chaco, supporting the hypothesis that significant differences exist among genotypes. The results provide valuable input for future breeding programs aimed at selecting tropical quinoa materials, contributing to agricultural diversification and regional food security.

Keywords: Tropical quinoa, digital phenotyping, morphological characterization.

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal originario de los Andes, reconocido a nivel mundial por su alto valor nutricional, destacando su aporte en proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, fibra dietética y minerales. Durante las últimas décadas, el cultivo de la quinua ha trascendido sus zonas tradicionales de producción altoandina, expandiéndose hacia ambientes no convencionales como los valles interandinos y regiones tropicales, donde su adaptación representa un desafío para la investigación agronómica.

La incorporación del cultivo de quinua tropical en sistemas productivos del Chaco boliviano constituye una alternativa estratégica para diversificar la producción agrícola, incrementar la seguridad alimentaria y generar ingresos a pequeños productores. Sin embargo, el éxito de dicho cultivo depende de su comportamiento agronómico bajo condiciones edafoclimáticas particulares, caracterizadas por altas temperaturas, suelos heterogéneos y periodos de estrés hídrico frecuentes en la región.

En este contexto, las metodologías tradicionales de evaluación agronómica referidas a la caracterización morfológica de plantas fueron complementadas con el fenotipado digital, una herramienta innovadora que permite la medición precisa y rápida de variables morfológicas. El uso de tecnologías de captura de imágenes, análisis automatizado y procesamiento de datos aporta objetividad y eficiencia al proceso de caracterización de genotipos, facilitando la identificación de materiales superiores con mayor tolerancia y estabilidad productiva.

Considerando la importancia de generar información científica sobre el cultivo de la quinua en ambientes tropicales, este estudio tuvo como objetivos:

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la técnica del fenotipado digital y caracterizar agronómicamente diez líneas avanzadas de quinua tropical (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones del algarrobal del municipio de Yacuiba.

Objetivos específicos

- Caracterizar agronómicamente diez líneas avanzadas de quinua tropical mediante la evaluación de variables de crecimiento, fenológicas y de rendimiento.
- Implementar y evaluar la técnica del fenotipado digital para la obtención de variables que permitan la caracterización morfológica de plantas de líneas

avanzadas de quinua tropical.

- Comparar el desempeño de las líneas avanzadas en función de su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de Algarrobal, identificando materiales con mayor estabilidad y potencial productivo.

Hipótesis

Hipótesis alterna

Existen diferencias significativas en el comportamiento agronómico en las variables donde se aplicó el fenotipado digital respecto a la caracterización convencional de diez líneas avanzadas de quinua tropical.

Hipótesis nula

No existe diferencias significativas en el comportamiento agronómico en las variables donde se aplicó el fenotipado digital respecto a la caracterización convencional de diez líneas avanzadas de quinua tropical.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Investigación Agrícola Algarrobal de propiedad de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado a 27 km de la ciudad de Yacuiba, margen izquierdo de la carretera nacional Yacuiba - Santa Cruz.

Geográficamente está situado a 21°50'00" de Latitud Sur y 63°35'09" de Longitud Oeste a una altitud de 603 m.s.n.m.

Figura 1. Imagen digital de ubicación del ensayo



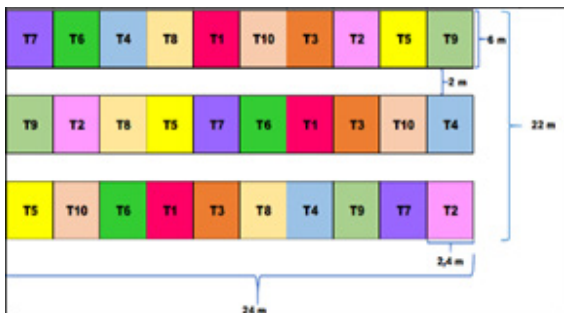
Fuente: Google Earth (2025)

Procedimiento experimental

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, descriptiva y experimental, bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con diez tratamientos constituidos por las líneas avanzadas de quinua tropical (*Chenopodium quinoa* Willd.) y 3 repeticiones. El método empleado fue hipotético-deductivo, contrastando las hipótesis mediante análisis

de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias. Se aplicaron técnicas de recolección de datos agronómicos (fenología, morfología y rendimiento) y de fenotipado digital (captura y análisis de imágenes para estimar variables), utilizando instrumentos de campo y un software especializado como el Digimezer. La unidad experimental correspondió a parcelas de cada línea dentro de los bloques, y la unidad de análisis incluyó tanto parcelas como plantas muestreadas. Este enfoque permitió obtener información precisa y objetiva sobre la adaptación y el desempeño productivo de las líneas.

Croquis de campo.



Tratamientos

- T1= Línea 199 Lila Claro 2
- T2= Línea 333 Verde Rosado 1
- T3= Línea 333 Verde Naranja 1
- T4= Línea 333 Amarillo 2
- T5= Línea 333 Verde Lila 3
- T6= Línea 333 Verde 4
- T7= Línea 495 Lila Naranja 1
- T8= Línea 495 Lila Naranja 2
- T9= Línea 333 Verde 2
- T10= Línea 533 Verde Trica 5

Procedimiento metodológico del fenotipado digital

El fenotipado digital se realizó en base a las fotografías tomadas según protocolo a cada uno de los tratamientos y que fueron procesadas con el software Digimizer 4.6.1.

Obtención de imágenes digitales

Para la toma de las imágenes se seleccionaron cinco plantas al azar por cada uno de los tratamientos que formó parte del ensayo. Las fotografías se tomaron con una cámara fotográfica digital de 16 megapíxeles con un fondo de color blanco de 1 m de ancho y 1,5 m de alto, al mismo se adjuntó una paleta de colores y una cinta métrica que ayudaron a estructurar la imagen para su posterior análisis en dicho software.

Análisis de imágenes

Las imágenes fueron analizadas con el software Digimizer versión 4.6.1, software gratuito y compatible con Windows, a través de este se analizaron cada una de las variables programadas en el presente estudio.

Variables evaluadas de forma convencional

✓ Días a emergencia

Se registró de forma diaria después de la siembra para conocer los días transcurridos, esta variable se determinó cuando más del 50% de las plántulas emergieron en cada uno de los tratamientos.

✓ Días a floración

Para evaluar esta variable se contaron los días transcurridos desde la siembra, hasta cuando el 50 % de las plantas florecieron.

✓ Días a grano lechoso

Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas entraron a grano lechoso, estado que se comprobó presionando el grano con las yemas de los dedos para determinar una consistencia lechosa.

✓ Días a grano pastoso

Para registrar los días a grano pastoso se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas pasaron del estado lechoso al estado pastoso, para verificar se presionó con las yemas de los dedos y que el líquido lechoso haya endurecido.

✓ Días a madurez fisiológica

Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que más del 50 % de las plantas hayan pasado el estado pastoso y presentaron un color amarillento natural y caída de las hojas, se comprobó este estado presionando la semilla y confirmó una consistencia dura.

✓ Altura de planta

Se realizó cuando el 50 % de las plantas alcanzaron la madurez fisiológica por ser la etapa en que la planta alcanza su máxima altura, se midió con un flexómetro, desde la base del tallo de la planta hasta el ápice de la panoja. Se registraron estas medidas en 10 plantas por cada tratamiento.

✓ Longitud de panoja

Se realizó la medición desde la base hasta el ápice de la panoja registrando los datos en centímetros.

✓ Diámetro de panoja

Se realizó con un vernier calibrado en centímetros, se midió en el tercio medio inferior de la panoja en las 10 plantas marcadas por cada tratamiento.

✓ Diámetro del tallo

Se realizó la medición en el tercio medio del tallo con un vernier calibrado en milímetros.

✓ Peso de 1000 granos

Una vez que se realizaron todas las mediciones anteriores, se procedió a la cosecha y trillado, para posteriormente realizar el pesaje correspondiente de los 1000 granos de quinua por cada tratamiento, la medición se registró en gramos (g).

✓ Rendimiento de grano

Para conocer el rendimiento de cada uno de los tratamientos se pesaron los granos obtenidos por cada m² evaluado, dentro del área útil de cada unidad experimental, una vez procesados y obtenido los resultados se realizó la conversión a kilogramos por hectárea.

✓ Contenido de saponina por el método afrosimétrico

Para determinar el contenido de saponina de los granos de cada línea de quinua, se pesó 0,5 g de semillas, y se midió 5 ml de agua destilada la cual fue colocada juntamente con la semilla en un tubo de ensayo de 15 cm de alto y 15 mm de diámetro, se agitó durante 30 segundos para poner a reposar por 10 segundos, posteriormente se hizo medición de la altura de la espuma con la ayuda de una regla, dato que se utilizó para colocar en la formula siguiente la cual nos determinó el porcentaje de saponina en cada una de las líneas de quinua tropical.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Precipitación

$$\frac{\text{mg saponinas}}{\text{g semillas}} = \frac{0,441 * (\text{altura de espuma despues de 30 sg en cm}) + 0,001}{\text{peso de la muestra en g}}$$

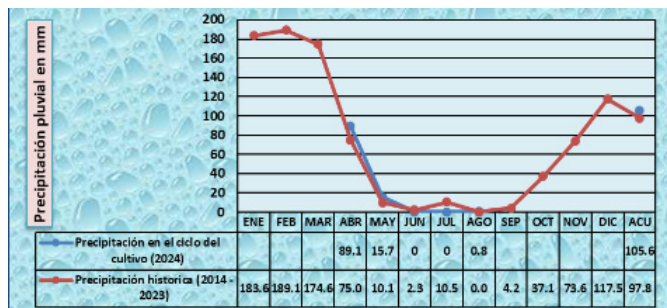


Gráfico 1. Registros de la precipitación pluvial durante el ciclo del cultivo (2024) e histórico de los últimos 10 años (2014-2023).

En el gráfico 1, se observa que el mes de abril presentó la mayor precipitación con 89,1 mm, acumulando en el ciclo total del cultivo 105,6 mm en comparación a

la precipitación histórica (2014-2023), el mes de abril presento la mayor precipitación con 75,0 mm y una acumulada de 97.8 mm.

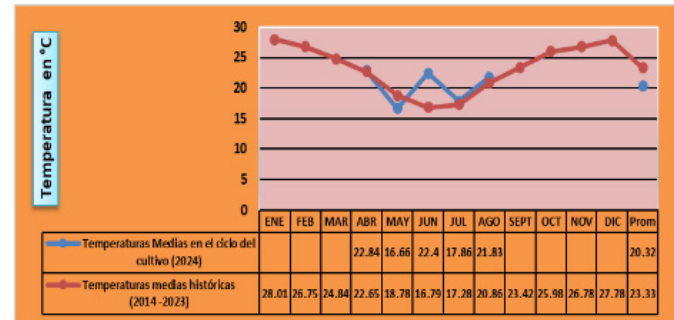


Gráfico 2. Temperatura media mensual registrada durante el ciclo del cultivo (2024) y la temperatura media histórica de los últimos 10 años (2014-2023).

Se observa que las temperaturas medias mínimas durante el ciclo del cultivo se registraron en mayo y julio con 16,66 °C y 17,86 °C, mientras que las temperaturas medias máximas se registraron en el mes de abril con 22,84 °C. Llegando a una temperatura media de 20,32 °C, sin embargo, para la temperatura media histórica la mínima se registró en junio con 16,79 °C y la temperatura media máxima se registró en el mes de abril con 22,65 °C, alcanzando una temperatura media histórica de 23,33 °C.

Variables agronómicas

➤ Días a emergencia

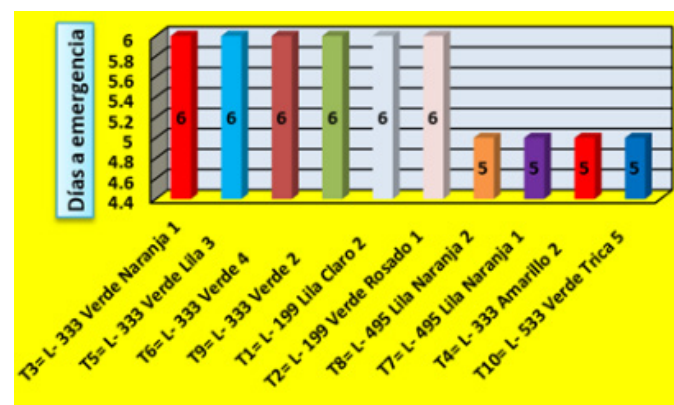


Gráfico 3. Días a emergencia.

El gráfico 3, muestra que las líneas T10 (L-533 Verde Trica 5), T4 (L-333 Amarillo 2), T7 (L-495 Lila Naranja 1) y T8 (L-495 Lila Naranja 2) emergieron a los 5 días después de la siembra, mientras que T2 (L-333 Verde Rosado 1), T1 (L-199 Lila Claro 2), T9 (L-333 Verde 2), T6 (L-333 Verde 4), T5 (L-333 Verde Lila 3) y T3 (L- 333 Verde Naranja 1), emergieron a los 6 días después la siembra.

✓ Días a floración

Realizado el análisis de varianza para esta variable se pudo verificar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, para ello se realizó la prueba de comparación de medias, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para días a floración

De acuerdo al análisis de comparación de medias, el tratamiento T6 y T7 son similares estadísticamente, y diferentes a T2 y T9 que reportaron valores de mayor precocidad en comparación al resto de los tratamientos que son significativamente iguales entre sí.

✓ Días a grano lechoso

Realizado el Análisis de Varianza se verificó la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 2. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para días a grano lechoso

Tratamientos	Medias	Duncan				
T6= L- 333 Verde 4	71	a				
T5= L- 333 Verde Lila 3	68	a	b			
T10= L- 533 Verde Trica 5	65		b	c		
T8= L- 495 Lila Naranja 2	64		b	c	d	
T4= L- 333 Amarillo 2	63			c	d	e
T7= L- 495 Lila Naranja 1	62			c	d	e
T2= L- 199 Verde Rosado 1	60				d	e f
T1= L- 199 Lila Claro 2	60				d	e f
T9= L- 333 Verde 2	59					e f
T3= L- 333 Verde Naranja 1	57					f

Según la prueba de comparación de medias, el tratamiento T3 es diferente a T6 y el resto de los tratamientos. T3 reportó el número menor de días a estado lechoso que el resto de los tratamientos.

✓ Días a grano pastoso

Realizado el análisis de varianza se verificó la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tratamientos	Medias	Duncan		
T5= L- 333 Verde Lila 3	86	a		
T6= L- 333 Verde 4	85	a		
T4= L- 333 Amarillo 4	84	a	b	
T10= L- 533 Verde Trica 5	81	a	b	c
T7= L- 495 Lila Naranja 1	81	a	b	c
T8= L- 495 Lila Naranja 2	81	a	b	c
T1= L- 199 Lila Claro 2	79		b	c
T3= L- 333 Verde Naranja 1	79		b	c
T2= L- 199 Verde Rosado 1	78			c
T9= L- 333 Verde 2	78			c

Tabla 3. Pruebas de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para días a grano pastoso.

Según la prueba de comparación de medias el tratamiento T2 y T9 son estadísticamente diferentes a T5 y el resto de los tratamientos. T2 y T9 presentaron los valores de menor número de días a estado pastoso.

Tratamientos	Medias	Duncan	
T6= L- 333 Verde 4	56	a	
T7= L- 495 Lila Naranja 1	55	a	
T5= L- 333 Verde Lila 3	52	a	b
T4= L- 333 Amarillo 2	51	a	b
T10= L- 533 Verde Trica 5	46	a	b
T3= L- 333 Verde Naranja 1	46	a	b
T8= L- 495 Lila Naranja 2	45	a	b
T1= L- 199 Lila Claro 2	45	a	b
T2= L- 199 Verde Rosado 1	43		b
T9= L- 333 Verde 2	43		b

✓ Días a madurez fisiológica

Realizado el Análisis de Varianza se verificó que hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Tabla 4. Pruebas de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para días a madurez fisiológica

Tratamientos	Medias	Duncan	
T6= L- 333 Verde 4	118	a	
T5= L- 333 Verde Lila 3	118	a	
T3= L- 333 Verde Naranja 1	116	a	b
T10= L- 533 Verde Trica 5	115	a	b
T8= L- 495 Lila Naranja 2	115	a	b
T7= L- 495 Lila Naranja 1	114	a	b
T4= L- 333 Amarillo 2	114	a	b
T9= L- 333 Verde 2	112	a	b
T2= L- 199 Verde Rosado 1	112	a	b
T1= L- 199 Lila Claro 2	110		b

Según la prueba de comparación de medias el tratamiento T1 reportó diferencia estadística significativa, respecto al T6 y T5 y el resto de los tratamientos, siendo el T1 el tratamiento que registró el menor número de días desde la emergencia, hasta la madurez fisiológica, siendo esta línea la más precoz de todas.

✓ Altura de planta (cm)

Realizado el análisis de varianza se verificó que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 5. Pruebas de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para altura de planta.

Tratamientos	Medias	Duncan			
T4= L- 333 Amarillo 2	100,67	a			
T7= L- 495 Lila Naranja 1	84,33		b		
T10= L- 533 Verde Trica 5	84		b		
T9= L- 333 Verde 2	79,33		b	c	
T2= L- 199 Verde Rosado 1	78,67		b	c	
T6= L- 333 Verde 4	74		b	c	d
T8= L- 495 Lila Naranja 2	72,67		b	c	d
T5= L- 333 Verde Lila 3	71,33		b	c	d
T1= L- 199 Lila Claro 2	67,33			c	d
T3= L- 333 Verde Naranja 1	62,67				d

Según la prueba de comparación de medias, el tratamiento T3 presenta diferencias estadísticas significativas al reportar la menor altura de planta, respecto a T4 y el resto de los tratamientos que presentaron valores superiores a este.

✓ Longitud de panoja (cm)

Realizado el análisis de varianza se verificó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 6. Pruebas de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para longitud de panoja.

Tratamientos	Medias	Duncan			
T4= L- 333 Amarillo 2	40,9	a			
T9= L- 333 Verde 2	38,23	a	b		
T7= L- 495 Lila Naranja 1	37,9	a	b		
T10= L- 533 Verde Trica 5	37,83	a	b		
T6= L- 333 Verde 4	37,03	a	b		
T2= L- 199 Verde Rosado 1	33,47		b	c	
T8= L- 495 Lila Naranja 2	33,43		b	c	
T1= L- 199 Lila Claro 2	32,77		b	c	
T3= L- 333 Verde Naranja 1	31,97		b	c	
T5= L- 333 Verde Lila 3	28,5			c	

Según la prueba de comparación de medias el tratamiento T4 presento diferencia significativa registrando la mayor longitud de panoja, respecto a T5 que presentó la menor longitud de panoja y ambos diferentes al resto de los tratamientos.

✓ Diámetro de panoja (cm)

Realizado el análisis de varianza se verificó que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 7. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para diámetro de panoja

Tratamientos	Medias	Duncan			
T10= L- 533 Verde Trica 5	35,17	a			
T4= L- 333 Amarillo 2	34,57	a			
T8= L- 495 Lila Naranja 2	34,1	a	b		
T2= L- 199 Verde Rosado 1	32,13	a	b		
T3= L- 333 Verde Naranja 1	31,97	a	b		
T5= L- 333 Verde Lila 3	31,5	a	b		
T1= L- 199 Lila Claro 2	31,43	a	b		
T7= L- 495 Lila Naranja 1	31,23	a	b		
T9= L- 333 Verde 2	30,23	a	b		
T6= L- 333 Verde 4	27,7		b		

Según la prueba de comparación de medias, el tratamiento T10 ya que reportó el mayor diámetro de panoja y T6 el menor diámetro de panoja, pero ambos diferentes estadísticamente respecto al resto de los tratamientos.

✓ Diámetro de tallo (mm)

Realizado el análisis de varianza, se verificó que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 8. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para diámetro de tallo.

Tratamientos	Medias	Duncan			
T4= L- 333 Amarillo 2	11,87	a			
T7= L- 495 Lila Naranja 1	11,03	a	b		
T3= L- 333 Verde Naranja 1	10,93	a	b		
T2= L- 199 Verde Rosado 1	10,8	a	b		
T9= L- 333 Verde 2	9,93	a	b		
T10= L- 533 Verde Trica 5	9,57		b		
T1= L- 199 Lila Claro 2	9,5		b		
T6= L- 333 Verde 4	9,47		b		
T8= L- 495 Lila Naranja 2	9,37		b		
T5= L- 333 Verde Lila 3	9		b		

Según la prueba de comparación de medias, el tratamiento T4 presentó el mayor diámetro de tallo y es diferente estadísticamente a T10, T1, T6, T8 y T5 que reportaron los valores menores de diámetro de tallo.

Peso de 1000 granos (g)

Realizado el análisis de varianza se verificó que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 9. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para peso de 1000 granos.

Tratamientos	Medias	Duncan			
T4= L- 333 Amarillo 2	5,08	a			
T8= L- 495 Lila Naranja 2	4,82	a	b		
T10= L- 533 Verde Trica 5	4,8	a	b		
T6= L- 333 Verde 4	4,78	a	b		
T7= L- 495 Lila Naranja 1	4,55	a	b	c	
T5= L- 333 Verde Lila 3	3,84		b	c	d
T3= L- 333 Verde Naranja 1	3,62			c	d
T2= L- 199 Verde Rosado 1	3,46			c	d
T1= L- 199 Lila Claro 2	3,16				d
T9= L- 333 Verde 2	2,42				e

Según la prueba de comparación de medias, el tratamiento T4 presentó el mayor peso de grano con 5.08 g. siendo significativamente diferente a T9, y ambos diferentes al resto de los tratamientos.

✓ Rendimiento de grano (kg/ha)

Realizado el análisis de varianza se verificó la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 10. Prueba de comparación de Duncan al 0.05 % de probabilidades de error para rendimiento de grano.

Tratamientos	Medias	Duncan			
T4= L- 333 Amarillo 2	1085,71	a			
T10= L- 533 Verde Trica 5	742,85		b		
T8= L- 495 Lila Naranja 2	675,71		b		
T7= L- 495 Lila Naranja 1	547,14		b	c	
T3= L- 333 Verde Naranja 1	490		b	c	d
T2= L- 199 Verde Rosado 1	385,71			c	d
T9= L- 333 Verde 2	257,14				d
T6= L- 333 Verde 4	248,57				d
T5= L- 333 Verde Lila 3	241,42				d
T1= L- 199 Lila Claro 2	240				d

Según la prueba de comparación de medias, se destaca la diferencia estadística presentada por el tratamiento T4 que reportó el mayor rendimiento de 1085,71 kg/ha, diferente a T9, T6, T5 y T1 que reportaron los menores valores de rendimiento.

✓ Porcentaje de contenido de saponina

Tabla 11. Contenido de saponina del grano (%)

Tratamientos	(%)Porcentaje de contenido de saponina	Sabor de saponina
T6 333 Verde Lila 3	5,74	Amargo
T6 333 Verde 4	4,82	Amargo
T2 199 Verde Rosado 1	4,65	Amargo
T8 495 Lila Naranja 2	4,45	Amargo
T7 495 Lila Naranja 1	3,95	Amargo
T1 199 Lila Claro 2	3,72	Amargo
T3 333 Verde Naranja 1	3,71	Amargo
T4 333 Amarillo 2	3,56	Amargo
T10 533 Verde Trica 5	3,26	Amargo
T9 333 Verde 2	2,57	Amargo

Respecto al contenido de saponina las líneas que obtuvieron el mayor porcentaje fueron 333 Verde Lila 3 con 5,74 %, seguido de 333 Verde 4 con 4,82 % 199 Verde Rosado 1 con 4,65 % y la línea con menor porcentaje de saponina fue de la línea 333 Verde 2 con 2,57 %. De acuerdo a los valores obtenidos de cada uno de los tratamientos, todas ingresan a la categoría de quinuas amargas.

Variables evaluadas a través del fenotipado digital

Las variables que fueron evaluadas a través del fenotipado digital de forma comparativa a la caracterización morfológica fueron las siguientes: Altura de planta (cm), longitud de panoja (cm), diámetro de tallo (cm), y área foliar (cm2). Los valores registrados para todas las líneas se detallan a continuación

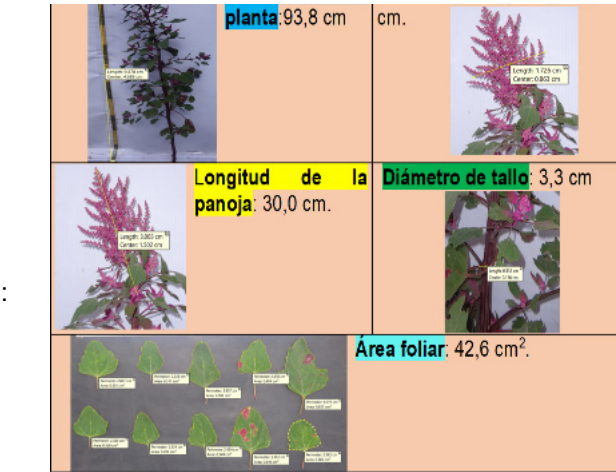


Figura 1. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical 4L-495 Rosa 2

Tabla 12. Valores registrados línea 4L-495 Rosa 2

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	93.8324	cm
	Longitud de panoja	30,0234	cm
	Diámetro de panoja	17, 2636	cm
	Diámetro de tallo	3,37379	cm
	Área foliar	42, 6247	cm²

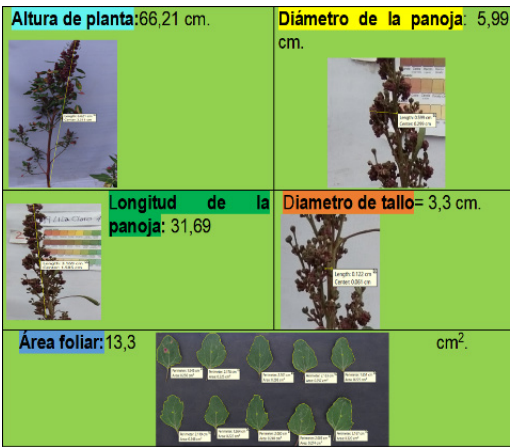


Figura 2. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical L-1 99 Lila claro 1

Tabla 13. Valores registrados línea 4L-495 Rosa 2

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	66,2105	cm
	Longitud de panoja	31,6923	cm
	Diámetro de panoja	59,2303	cm
	Diámetro de tallo	3,358351	cm
	Área foliar	13,31931	cm²



Figura 3. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Lila Claro 4

Tabla 14. Valores registrados línea Lila Claro 4

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	63,07931	cm
	Longitud de panoja	31,89373	cm
	Diámetro de panoja	11,42372	cm
	Diámetro de tallo	1,960009	cm
	Área foliar	19,84648	cm ²

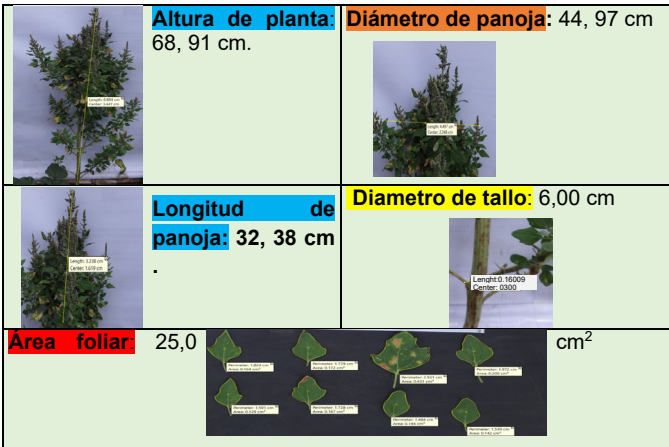


Figura 4. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Verde Rojizo 1

Tabla 15. Valores registrados línea Verde Rojizo 1

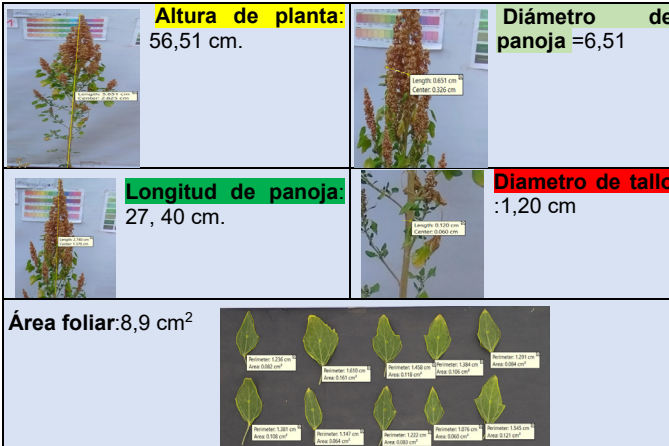
Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	56,5194	cm
	Longitud de panoja	27,40629	cm
	Diámetro de panoja	65,16767	cm
	Diámetro de tallo	1,206003	cm
	Área foliar	8,903853	cm ²

Figura 5. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Verde Amarillo.

Tabla 16. Valores registrados línea Verde Amarillo

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	68,9143	cm
	Longitud de panoja	32,38471	cm
	Diámetro de panoja	44,97142	cm
	Diámetro de tallo	6,00915	cm
	Área foliar	25,03246	cm ²

Figura 6. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Amarillo 2



Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	104,23189	cm
	Longitud de panoja	62,911208	cm
	Diámetro de panoja	46,4212	cm
	Diámetro de tallo	2,359637	cm
	Área foliar	16,17826	cm ²

Tabla 17. Valores registrados línea Amarillo 2

Fuente: Elaboración propia

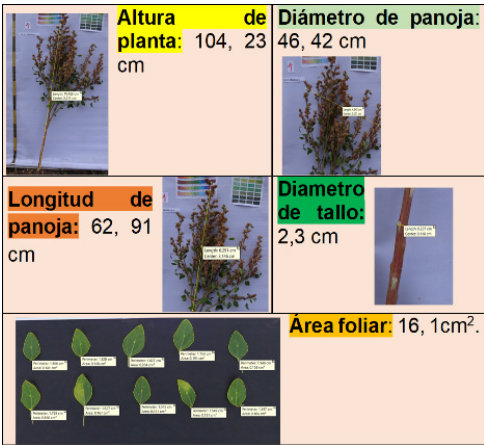


Figura 7. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Amarillo 3

Tabla 18. Valores registrados línea Amarillo 3

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	102,66535	cm
	Longitud de panoja	5,976715	cm
	Diámetro de panoja	21,3555172	cm
	Diámetro de tallo	1,603142	cm
	Área foliar	50,19343	cm ²

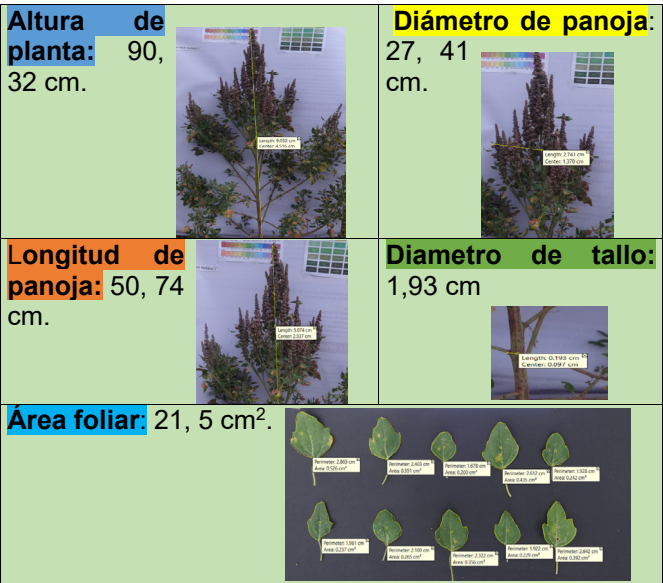


Figura 9. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical Verde Rosa 1

Tabla 20. Valores registrados línea Verde Rosa 1

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	90,32599	cm
	Longitud de panoja	50,74922	cm
	Diámetro de panoja	27,41823	cm
	Diámetro de tallo	21,57142	cm
	Área foliar	1,124399	cm ²



Figura 10. Datos registrados mediante el fenotipado digital en la línea de quinua tropical L 4-CHI 15-2022

Tabla 21. Valores registrados línea L 4-CHI 15-2022

Número de plantas	Variables evaluadas	Áreas y dimensiones	Unidad
Planta 1	Altura de planta	55,26902	cm
	Longitud de panoja	49,92436	cm
	Diámetro de panoja	12,2284	cm
	Diámetro de tallo	1,97489	cm
	Área foliar	11,2275	cm ²

3.2. Discusión

3.2.1. Variables evaluadas convencionalmente

✓ Días a emergencia

Los resultados mostraron que las líneas T10, T4, T7 y T8 emergieron a los 5 días después de la siembra, mientras que el resto lo hizo a los 6 días. Esta escasa variación evidencia una adaptación homogénea al ambiente cálido del municipio de Yacuiba en el Chaco tarijeño. Según Tapia (2015), “la quinua presenta una amplia plasticidad de adaptación desde el altiplano hasta zonas tropicales”, lo que coincide con la respuesta observada en el presente ensayo.

✓ Días a floración

Se registraron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose T2 y T9 por mayor precocidad. Condori (2023) encontró resultados similares en el algarrobal, señalando que “las líneas tropicales de quinua tienden a florecer en un rango de 45 a 60 días después de la emergencia, con diferencias significativas entre genotipos”. Este comportamiento confirma que la floración es una variable clave para seleccionar materiales adaptados a altas temperaturas.

✓ Días a grano lechoso

La línea T3 alcanzó este estado en menor tiempo, diferenciándose de T6 y del resto. Ortiz (2023) reportó que “el ingreso a grano lechoso en líneas tropicales ocurre entre 65 y 75 días después de la siembra”, rango dentro del cual se ubicaron las líneas evaluadas en este estudio. Esto evidencia que la precocidad en esta etapa puede ser un carácter de interés para zonas de déficit hídrico.

✓ Días a grano pastoso

Los tratamientos T2 y T9 alcanzaron antes el estado pastoso, lo que sugiere precocidad. Mujica, Gómez y Aguilar (2013) señalan que “la duración de las fases reproductivas de la quinua influye directamente en la acumulación de materia seca y el rendimiento final”. En este caso, la precocidad observada puede estar asociada a estrategias de escape frente al estrés térmico.

✓ Días a madurez fisiológica

La línea T1 presentó la menor duración hasta madurez fisiológica, siendo la más precoz. Castillo (2023) afirma que “en ambientes tropicales, la madurez fisiológica se alcanza de forma más acelerada que en zonas altoandinas”. Este resultado respalda la hipótesis de que las líneas tropicales poseen ciclos más cortos, lo cual es ventajoso para adaptarse a la variabilidad climática del Chaco.

✓ **Altura de planta**

El análisis mostró diferencias significativas, destacando T3 con la menor altura. Según Gutiérrez y Mamani (2018), “la altura de planta varía entre 80 y 150 cm dependiendo del genotipo y la disponibilidad de agua”. En este ensayo, las líneas más altas superaron los 140 cm, evidenciando un buen potencial de adaptación y vigor en condiciones cálidas.

✓ **Longitud de panoja**

La línea T4 registró la mayor longitud de panoja, mientras que T5 mostró la menor. Mujica, Gómez y Aguilar (2013) reportan que “la longitud de panoja oscila entre 30 y 80 cm y se correlaciona positivamente con la altura de planta”. En este estudio se confirma dicha correlación, pues las líneas más altas tendieron a presentar panojas más largas.

✓ **Diámetro de panoja**

El tratamiento T10 alcanzó el mayor diámetro, mientras que T6 presentó el menor. Ortiz (2023) describe que “el diámetro de panoja es un rasgo de gran variabilidad en líneas tropicales, con valores entre 3 y 9 cm”. Los resultados coinciden con este rango, lo que respalda la variabilidad genética de las líneas evaluadas.

✓ **Diámetro de tallo**

El mayor diámetro se observó en T4, superando significativamente a otros tratamientos. Según Tapia (2015), “el grosor del tallo es un carácter agronómico importante porque confiere resistencia al acame”. En este sentido, T4 destaca no solo por su rendimiento sino también por su robustez estructural.

✓ **Peso de 1000 granos**

T4 registró el mayor peso con 5,08 g, mientras que T9 mostró el menor. Condori (2023) reportó valores similares, afirmando que “el peso de 1000 granos en líneas tropicales varía entre 3,5 y 5,5 g”. Los resultados confirman la importancia de esta variable como indicador de calidad del grano.

✓ **Rendimiento de grano**

El mayor rendimiento fue observado en T4 con 1085,71 kg/ha, mientras que las líneas T9, T6, T5 y T1 registraron los valores más bajos. Ortiz (2023) destaca que “los rendimientos en el Chaco fluctúan entre 800 y 1500 kg/ha, dependiendo del manejo y el genotipo”. El rendimiento de T4 confirma su potencial productivo en ambientes

cálidos y semiáridos.

✓ **Contenido de saponina**

Todas las líneas fueron clasificadas como amargas, con valores entre 2,57 y 5,74 %. Tapia (2015) señala que “las quinuas dulces presentan menos de 0,11 % de saponinas, mientras que las amargas superan el 1 %”. Estos resultados concuerdan plenamente y sugieren que, aunque las líneas muestran adaptación productiva, requieren procesos de desaponificación para consumo.

3.2.2. Variables evaluadas a través del fenotipado digital

✓ **Altura de planta**

Los valores obtenidos con Digimizer fueron consistentes con las mediciones convencionales. Jones (2014) sostiene que “el fenotipado digital permite estimaciones precisas de dimensiones morfológicas con menor sesgo humano”. Esto refuerza la utilidad de la herramienta en estudios de selección temprana.

✓ **Longitud de panoja**

La correlación con los datos convencionales fue alta, confirmando la eficacia de la técnica. Ortiz (2023) menciona que “la medición digital de panojas ofrece un respaldo visual que facilita la comparación entre genotipos”. Por tanto, el software se valida como un complemento de la medición de campo.

✓ **Diámetro de tallo**

Los resultados digitales mostraron concordancia con los datos manuales. Condori (2023) resalta que “la precisión del análisis digital permite detectar variaciones pequeñas que podrían pasar desapercibidas en mediciones convencionales”. Esto es clave para la selección de materiales resistentes al acame.

✓ **Área foliar**

Esta variable solo pudo medirse mediante fenotipado digital, lo que representó una ventaja metodológica. Jones (2014) afirma que “el área foliar es un indicador crítico de la capacidad fotosintética y puede estimarse con exactitud mediante imágenes digitales”. Este aporte demuestra el valor del fenotipado para caracterizar aspectos fisiológicos que serían complejos de registrar en campo.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castillo, (2023). Evaluación de cuatro variedades de quinua tropical (*Chenopodium quinoa* Willd) en tres épocas de siembra en Algarrobal, municipio de Yacuiba.

Condori, (2023). Evaluación del comportamiento agronómico de diez variedades de quinua tropical (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo condiciones agroclimáticas de Algarrobal, municipio de Yacuiba.

Gutiérrez, L., & Mamani, J. (2018). Manejo agronómico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en zonas altoandinas. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Jones, H. G. (2014). Plantas y microclima: un enfoque cuantitativo de la fisiología ambiental de las plantas. Cambridge University Press. (3rd ed.). .

Mujica, A., Gómez, F., & Aguilar, S. (2013). Caracterización agronómica de progenies de quinua. Revista de Ciencia e Investigación Agraria, 162.

Ortiz, (2023). Evaluación de comportamiento de 126 líneas avanzadas de quinua tropical (*Chenopodium quinoa* Willd) en condiciones agroecológicas de Algarrobal, municipio de Yacuiba.

Tapia, M. (2015). Los granos andinos: cultivos rescatados y su aporte a la alimentación mundial. FAO-Andes.

Artículo de Investigación

Identificación del hongo *Trichoderma* spp en tres ecorregiones del municipio de Yacuiba

“Identification of the fungus *Trichoderma* spp. In three ecorregions of the municipality of Yacuiba”

Paraba Guzmán Erika Esdenka¹ ORCID: 0009-0004-8598-9037, Reyes

Vaca Ivar Mario² ORCID: 0009-0008-0351-8303, Grados Torrez Ricardo

Enrique³ ORCID: 0000-0001-7287-2586₁

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ² Docente Facultad de Ingeniería de Recursos

Naturales y Tecnología – Carrera de Ingeniería Agronómica, UAJMS. ³ Docente de Biología Molecular, Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas, UMSA.

Correspondencia del autor principal (es):

sdenka.gp@gmail.com

Celular: (+591) 75187906

RESUMEN

Entre las especies más estudiadas y aplicadas como control biológico, se encuentra el género *Trichoderma*, debido a su eficaz control, capacidad reproductiva y su acción como inductor de resistencia sistémica en la planta a diferentes patógenos en los agroecosistemas donde existan condiciones para su desarrollo y conservación. En el mercado existen fórmulas comerciales a base de *Trichoderma*, aplicarlo sin tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas específicas requeridas, conduce a un efecto biorregulador no uniforme, incompatible y con baja eficacia en las aplicaciones. El objetivo del trabajo fue aislar e identificar el hongo *Trichoderma* spp. en tres ecorregiones del municipio de Yacuiba, donde se tomaron 36 muestras al azar, de forma asistemática, tomando en cuenta parte de monte y parte cultivable (maíz) de las comunidades de Sanandita, Algarrobal y Aguayrenda para pie de monte; Tierras Nuevas, Brecha 15, Barro Negro, para transición; Llanura Seca, San Carlos, Peña Colorada, para llanura chaqueña; el aislamiento se realizó por diluciones de las muestras, la siembra fue dentro de la cámara de flujo laminar en cajas Petri, con PDA como medio de cultivo. La identificación a nivel de género fue a través de una clave dicotómica, además de compararlas con otras, tomando en cuenta características macro y microscópicas, identificándose a *Trichoderma* spp. en la ecorregión de pie de monte (TY3, TY11, TY12) y llanura chaqueña (TY26), mismo que mostró alto potencial para el control de patógenos. Se recomienda continuar con la investigación por épocas, incorporando más comunidades, además de identificar al hongo a nivel de especie.

PALABRAS CLAVE: *Trichoderma*, control biológico, antagonismo.

ABSTRACT

Among the most studied and widely used species for biological control is the genus *Trichoderma*, due to its effective control, reproductive capacity, and its action as an inducer of systemic resistance in plants to different pathogens in agroecosystems where conditions for its development and conservation exist. There are commercial *Trichoderma*-based formulas on the market, but applying them without taking into account the specific soil and climate conditions required leads to a non-uniform, incompatible, and low-efficiency bioregulatory effect in applications. The objective of the study was to isolate and identify the fungus *Trichoderma* spp. in three ecoregions of the municipality of Yacuiba, where 36 samples were taken at random, in an unsystematic manner, taking into account part of the forest and part of the cultivable land (corn) of the communities of Sanandita, Algarrobal, and Aguayrenda for the foothills; Tierras Nuevas, Brecha 15, Barro Negro, for transition; Llanura Seca, San Carlos, Peña Colorada, for the Chaco plain. Isolation was carried out by diluting the samples, which were then seeded in Petri dishes in a laminar flow chamber, using PDA as the culture medium. Gender identification was performed using a dichotomous key, in addition to comparing them with others, taking into account macro and microscopic characteristics. *Trichoderma* spp. was identified in the foothills ecoregion (TY3, TY11, TY12) and the Chaco plains (TY26), which showed high potential for pathogen control. It is recommended to continue the research by season, incorporating more communities, in addition to identifying the fungus at the species level.

KEYWORDS

Trichoderma, biological control, antagonism.

1. INTRODUCCIÓN

El continuo ataque de enfermedades a los cultivos mayormente causadas por bacterias, nematodos y hongos del suelo, ocasionan múltiples problemas difíciles de contener que en muchos casos son la causa de pérdidas en la producción agrícola sin obtener ningún beneficio.

Entre los hongos del suelo que causan mayores pérdidas están: *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia*, los cuales afectan una gran variedad de cultivos. Mediante el uso de hongos y bacterias antagonistas se han podido conocer estrategias con mayor potencial para el control de enfermedades ocasionadas por patógenos del suelo. Entre estos microorganismos destaca el género *Trichoderma spp.* como agente de control biológico (Howell, 2003).

Trichoderma spp., es un hongo anaeróbico habitante natural del suelo, caracterizado por un comportamiento saprófito o parásito. Entre las especies más destacadas está: *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningii*, y *T. hamatum* (Chávez, 2006) citado por (Ayarde, 2018).

Samaniego *et al.* (2018), con el fin de aislar, identificar y evaluar cepas autóctonas de *Trichoderma spp.* de la provincia Matanzas, Cuba, realizaron una prospección en dos agroecosistemas con suelo ferralítico rojo; a partir de uno de ellos, se aislaron e identificaron tres cepas autóctonas de este hongo. Se aíslan e identifican las cepas autóctonas *Trichoderma* 2T-aislado, *Trichoderma harzianum* 6(A-53)2 y *Trichoderma viride* 4(TS-3)1 a partir de un suelo ferralítico rojo, procedente de un agroecosistema de la provincia Matanzas; *Trichoderma* 2T-aislado resultó el antagonista in vitro más eficiente contra los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.* y *Sclerotium rolfsii*.

El empleo de fórmulas comerciales de *Trichoderma* contra hongos fitopatógenos en determinadas regiones agrícolas, sin tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas específicas, conduce a un efecto biorregulador no uniforme, inadaptabilidad y baja eficacia de las cepas en las aplicaciones, por lo que se busca el aislamiento de hongos autóctonos, con el fin de encontrar cepas mejor adaptadas a las condiciones donde serán utilizadas para el biocontrol.

El paso inicial para el correcto desarrollo de biocontroladores fúngicos es el reconocimiento del hongo *Trichoderma spp.*, esto permitiría emprender más eficientemente las estrategias de lucha integrada contra diferentes patógenos del suelo en varios cultivos de la región, para lo cual es necesario el aislamiento y la identificación de estas especies.

Conocedores de esta problemática en el Instituto de Investigaciones Fármaco Bioquímicas (IIFB), Luis Enrique Terrazas Siles a finales de los años 1990, empezaron

a estudiar tanto extractos vegetales (Figueroa, 1996; Mercado, 1997) como microorganismos para determinar su actividad antifúngica (Peña *et al.*, 1998). Tras años de investigación se lograron aislar diferentes hongos con capacidad biocontroladora contra hongos patógenos de cultivos de importancia en Bolivia, siendo uno de los más representativos *Trichoderma inhamatum* cepa 12 QD citado por (Chávez *et al.*, 2014).

En un trabajo de tesis realizado por Ayarde en el año 2018, en el centro experimental de Chocloca, Tarija, se logró el aislamiento del hongo *Trichoderma spp* en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA); de las 36 muestras 7 dieron positivas de las cuales se realizaron 3 aislamientos monospóricos por muestra. Basándose en resultados obtenidos de las muestras de campo y de laboratorio se determinó la presencia del hongo *Trichoderma spp* en un 83% de muestras positivas tomadas de los suelos del área de investigación.

El objetivo general del presente trabajo fue Identificar el hongo *Trichoderma spp.* en tres ecorregiones, en el municipio de Yacuiba.

Los objetivos específicos:

Identificar lugares donde se presentan mayor actividad. A través de un muestreo de suelos, aislar *Trichoderma spp.* Identificar el hongo *Trichoderma spp.* a nivel de género.

Las hipótesis planteadas se describen a continuación:

Hipótesis alterna

Los suelos de todas las ecorregiones en estudio presentan cepas autóctonas de *Trichoderma spp.*

Hipótesis nula

Los suelos de las ecorregiones en estudio, no presentan cepas autóctonas de *Trichoderma spp.*

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el municipio de Yacuiba, del departamento de Tarija, el mismo se encuentra ubicado en el subandino sur y la llanura del Chaco, distante a 273 km de la ciudad de Tarija y a 544 km de la ciudad de Santa Cruz por la ruta 9. El municipio de Yacuiba constituye una franja que se proyecta en la serranía del Aguaragüe y se prolonga hasta la zona de transición pasando a la llanura chaqueña. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 63° 40' 9" de longitud oeste, y 22° 0' 10" de latitud sur, a una altura de 632 msnm, limita al este y norte con el municipio de Villa Montes, al oeste con Caraparí y al sur con la República Argentina, teniendo como límites naturales en la dirección oeste, la serranía

del Aguaragüe; al norte y al este el río Pilcomayo



Figura 1. Ubicación geográfica – Zona de pie de monte (verde) – Zona de transición (anaranjado) – Zona de llanura chaqueña (amarillo).

2.1. Materiales

2.1.1. Material de campo

- Pala de jardinería
- Barreno
- Bolsas de polietileno
- Balanza
- GPS
- Conservadora
- Cinta métrica
- Etiquetas

2.1.2. Material de gabinete

- Libreta de campo
- Cámara fotográfica
- Marcadores
- Computadora

2.1.3. Material de laboratorio

- Bata blanca para laboratorio
- Un par de Guantes
- Cajas Petri de vidrio
- PDA (Agar papa dextrosa)
- Agua destilada
- Micropipeta
- Piceta
- Espátulas
- Asa de platino
- Mecheros
- Sacabocado
- Cámara de flujo laminar
- Horno de secado

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, investigación aplicada, descriptiva, comparativa y experimental de laboratorio con observación de campo.

2.2.2. Diseño de investigación

El trabajo de investigación corresponde a un muestreo de campo y análisis de laboratorio por lo que no se aplicó ningún diseño.

2.2.3. Procedimiento en campo

Las recolecciones efectuadas para el aislamiento de *Trichoderma spp.*, fueron desde el mes de junio hasta noviembre, en el municipio de Yacuiba. El área de estudio está distribuida en las comunidades de: Sanandita, Algarrobal que pertenece a la universidad y Aguayrenda, estas corresponden a la zona de pie de monte; Tierras Nuevas, Villa el Carmen (Brecha 15) y Barro negro, para la zona de transición y para la zona de llanura chaqueña corresponde la comunidad de Llanura Seca (camino a Crevaux), Bagual (San Carlos) y Peña Colorada, zonas donde se recolectó, en cada una, 4 muestras de suelo para aislar *Trichoderma spp.*

i. Parcelas muestreadas

Para el muestreo del suelo se tomó en cuenta los terrenos de nueve comunidades, tres de cada ecorregión, dando un total de treinta y seis muestras de suelos.

ii. Método de muestreo

Para realizar el muestreo se utilizó el método al azar, de forma asistemática, cerca de las raíces de la planta, para lo cual se seleccionaron diferentes puntos dentro del terreno tomando en cuenta parte de monte y parte cultivable (maíz), obteniendo cuatro muestras de aproximadamente 500 g por cada comunidad.

iii. Equipo de muestreo

Las herramientas utilizadas fueron Barrenador, pala de jardinería, balanza, debidamente desinfectados con alcohol al 70 %, con el fin de evitar que durante la manipulación del suelo se pudieran contaminar con otros agentes patógenos. Cinta métrica, GPS, además de bolsas para poner las muestras de suelos con sus respectivas etiquetas.

Transporte de muestras

Para el transporte de las muestras se utilizaron bolsas de plástico con sus etiquetas, estas fueron transportadas en una conservadora de plastoformo y procesadas a los dos días siguientes en el laboratorio de fitopatología perteneciente a la facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

2.2.4. Procedimiento en laboratorio

Este método se realizó mediante diluciones, de cada muestra de suelo obtenida dando un total de 36 muestras.

Se pesó 100 gr de suelo fresco dentro de un frasco, con

200 ml de agua destilada; luego se procede agitarlas por 5 min, para lograr una buena dilución y mezcla, se dejó reposar durante un día para que el suelo se sedimentara en la parte baja del frasco y a su vez se suspenda y diluya las partículas de suelo en el agua estéril.

Por otra parte, las cajas petri fueron envueltas en papel de periódico y colocadas en el horno de secado para ser esterilizadas a una temperatura de 120° C durante unos 30 a 60 min, dependiendo del calentamiento del horno.

La siembra se realizó dentro de la cámara de flujo laminar, previamente esterilizada con alcohol al 70 %, para que no exista contaminación con el ambiente. Se debe esterilizar todos los materiales de laboratorio que serán usados para la siembra.

i. Medio de cultivo

Para el aislamiento e identificación del hongo *Trichoderma* se utilizó el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA). Este medio es útil porque proporciona una gran cantidad de nutrientes esenciales para su desarrollo (fuente de nitrógeno y carbono).

Para la preparación del medio se utilizó 19,5 g de agar papa dextrosa (PDA), diluido en 500 ml de agua destilada.

El medio de cultivo estuvo previamente esterilizado, en autoclave, durante aproximadamente 3 min a 105 °C, el calentamiento puede demorar unos 10 min.

ii. Prueba de pureza

Identificada la posible presencia de *Trichoderma spp.*, en medio de cultivo PDA, para confirmar y/o descartar la presencia de *Trichoderma spp.*, se tomó una muestra de la caja del medio de cultivo PDA, utilizando un asa de platino, se transfirieron pequeñas cantidades de esporas a una placa con PDA. Se incubó a 24 °C durante 4 a 8 días, haciendo un seguimiento continuo para observar su evolución. Esta prueba de pureza fue utilizada para la identificación de características macroscópicas y microscópicas del género *Trichoderma spp.*

iii. Método de aislamiento

• Método de dilución en placa

Teniendo todo el material dentro de la cámara se inició con la siembra del suelo ya diluido, ya retiradas las cajas Petri del horno se quitó el papel de periódico, luego se vierte 10 ml del medio de cultivo (PDA) por caja. Una vez vertido el medio de cultivo se procedió a incorporar las muestras de suelo diluido a cada caja petri con ayuda de una micropipeta.

Una vez completada la siembra, se llevó las muestras

a incubar por un periodo de 5 a 8 días a 24 °C, durante este tiempo se observó el crecimiento de diferentes colonias de hongos y bacterias.

• Cultivos monospóricos

Este ensayo, se dio a partir de colonias purificadas y esporulados de un cultivo en PDA del hongo aislado e identificado, utilizando un sacabocado y ayudándose con un crochet en aluminio se transfirieron pequeñas cantidades de pedazos de muestra a una placa con PDA, incubando a 24 °C durante 4 a 8 días.

2.2.5. Registro de información

i. Identificación de género

La identificación morfológica a nivel de género, se realizó mediante la observación al microscopio de las estructuras características de *Trichoderma spp.* (conidióforos, esporas, fiálides, y otros).

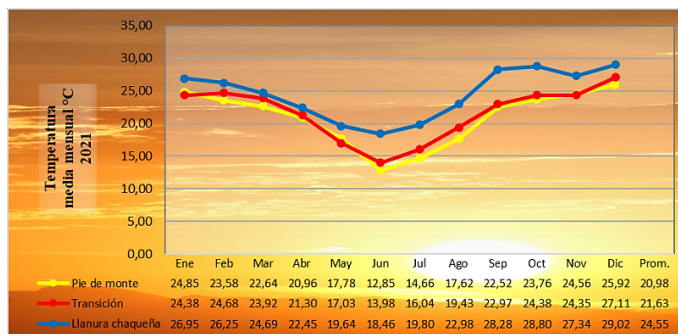
ii. Observación macroscópica

Consistió en la observación rigurosa de todas las características del hongo a simple vista. Esta observación incluyó: Forma y tiempo de crecimiento, pigmentación, formación de colonias, presencia de esporas, crecimiento en forma algodonosa

iii. Observación microscópica

• Técnica de cinta pegante

Se utilizó una tira de cinta adhesiva de 2 cm, con esto se logró adherir pequeñas cantidades del hongo; para ello se tocó con el lado adhesivo de la cinta el borde de la colonia del hongo, no así del centro debido a que en ella puede haber una excesiva concentración de esporas. Seguidamente se pegó la cinta en un portaobjetos, y se analizó la morfología de las cepas, tomando en cuenta



su estructura.

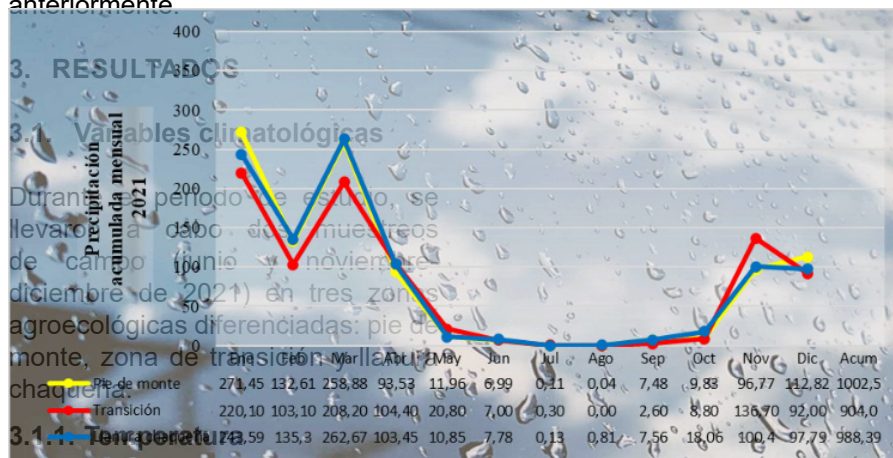
• Montaje por disección

Con una aguja de disección, se tomó una pequeña muestra de la parte superficial de la colonia del hongo, 50

con la ayuda de otra aguja o de un asa se extiende la muestra depositándola en el portaobjetos, para luego ser observada con la ayuda del microscopio con un aumento de 40 X.

• Identificación mediante claves taxonómicas

Para la identificación del género del hongo se emplearon claves taxonómicas, tomándose en cuenta las características macroscópicas y microscópicas mencionadas anteriormente.



En el gráfico 1, se muestran los registros de la temperatura diaria y el promedio mensual para todos los meses del año 2021 y de los meses durante los cuales se desarrolló la investigación (junio, noviembre y diciembre).

Gráfico 1. Temperatura promedio mensual 2021 y durante los meses de muestreo

La temperatura promedio mensual del ambiente presentada durante el primer análisis de campo (junio del 2021) para la zona de pie de monte fue de 12,85 °C, para la zona de transición 13,98 °C, las mismas que se encuentran por debajo del rango óptimo, a diferencia de la temperatura en la zona de la llanura chaqueña, la misma que fue de 18,46 °C, encontrándose la misma dentro del rango óptimo requerido. Mientras que la condición térmica durante el segundo muestreo de campo (noviembre y diciembre del 2021), las temperaturas promedio fueron las temperaturas promedio

de 24,56 y 25,92 °C para la zona pie de monte; 24,35 y 27,11 °C para la zona de transición; 27,34 y 29,02 °C para la zona la llanura chaqueña, las mismas que se encontraban dentro del rango requerido para la presencia de *Trichoderma spp.*

3.1.2. Precipitación

En el gráfico 2, se observan los registros de la precipitación acumulada mensual para todos los meses del año 2021 y durante el tiempo que demandó la investigación (junio, noviembre y diciembre).

Gráfico 2. Precipitación acumulada mensual 2021 y durante los meses de muestreo

El volumen de agua precipitada durante el primer muestreo de campo (junio del 2021) fue de 6,99 mm para la zona de pie de monte; 7,00 mm para la zona de transición y 7,79 mm para la zona de la llanura chaqueña, condición de humedad del suelo que repercutieron negativamente en la presencia y población de *Trichoderma* en las tres zonas, mientras que en el segundo periodo de muestreo (noviembre y diciembre del 2021), la precipitación fue de 96,77 y 112,82 mm para la zona de pie de monte; 136,70 y 92,00 mm para la zona de transición; 100,4 y 97,79 mm para la zona de llanura chaqueña, condiciones de humedad, que favorecieron la manifestación y presencia de *Trichoderma*.

3.2. Variables evaluadas relacionadas a *Trichoderma spp.*

3.2.1. Identificación en laboratorio

En las 36 muestras recolectadas y analizadas, en el primer análisis no se observa presencia alguna de *Trichoderma*. En el segundo análisis realizado se pudo observar la morfología de colonias desarrolladas en medio de cultivo PDA, indicando que podría tratarse de *Trichoderma spp.* Estas muestras fueron observadas al microscopio para verificar las estructuras típicas de *Trichoderma*, determinándose que sólo 4 muestras pertenecían a este género. A partir de estas colonias aisladas, se obtuvieron los respectivos cultivos monospóricos, paso fundamental para garantizar su identificación.

i. Características macroscópicas del hongo *Trichoderma spp.*

En la figura 2 se muestran los resultados de las características macroscópicas del hongo.

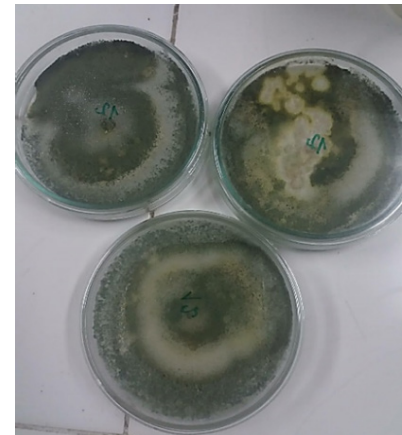


Figura 2. Colonias de 5 a 8 días con coloración blancas - verdes, reaccionando al ataque de agentes contaminantes.

En un tiempo de cultivo de 4 a 8 días, *Trichoderma spp.* presenta micelio de consistencia y superficie esponjosa, con uno a dos anillos concéntricos blancos (micelio) y verdes (conidios), con una pigmentación conidial desde una tonalidad verde claro llegando a verde oscuro, con un tamaño mediano, de forma circular, elevación convexa y margen filamentoso.

ii. Características microscópicas del hongo *Trichoderma spp.*

En la figura 3 se observan los resultados de las características microscópicas del hongo

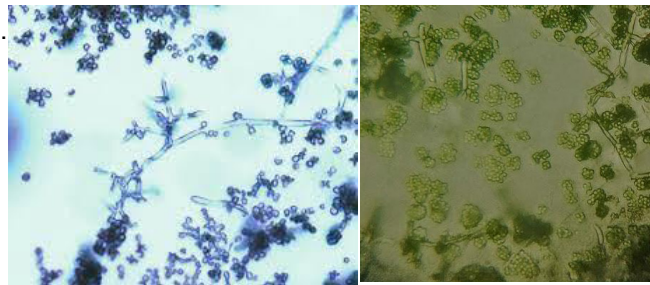


Figura 3. Comparación de la estructura del hongo *Trichoderma spp.* con el hongo identificado.

De acuerdo a la descripción del micelio encontrado en el análisis de las muestras, el mismo corresponde al género *Trichoderma spp.*, en razón a que la estructura de los conidióforos, el color de los conidios y la forma de sus ramificaciones llegando a ser parecido a un pequeño arbolito.

3.2.2. Identificación mediante claves taxonómicas

Clave dicotómica para la identificación de algunos géneros de hongos anamorfos.

- 1- Conidios marrones oscuros, siempre septados -----2
- 2- Conidios muriformes (con septos transversales y a veces longitudinales), ovoides, sin célula central curvada-----*Alternaria*
- 2"- Conidios no muriformes (solo con septos transversales), con forma de boomerang y con célula central curvada-----*Curvularia*
- 1"- Conidios nunca marrones oscuros, a veces septados-----3
- 3 - Conidios en forma de medialuna -----*Fusarium*
- 3"- Conidios diferentes, redondeados o elípticos no en forma de medialuna-----4
- 4- Conidios con cicatrices en una o ambas caras, colonias siempre verdes oscuras-----*Cladosporium*
- 4"- Conidios sin cicatrices en ambas caras, colonias con coloraciones distintas -----5
- 5-Colonias amarillas verdosas de crecimiento rápido -----*Trichoderma*
- 5"- Colonias no amarillo verdosas sin crecimiento rápido -----6
- 6- Conidióforo que termina en una vesícula globosa-----*Aspergillus*
- 6"- Conidióforo que no termina en una vesícula globosa, con aspecto de pincel-----7
- 7- Colonias en general marrones amarillentas con filídes terminando en largos cuellos-----

- Paecilomyces*
- 7"- Colonias en general verde azuladas (no siempre) con filídes terminando en cortos cuellos
- Penicillium*

3.2.3. Determinación de la presencia de *Trichoderma spp.*

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la población de colonias de *Trichoderma spp.* correspondiente al primer y segundo ensayo.

i. Primer muestreo y análisis de laboratorio

Tabla 1. Resultados del primer ensayo

ENSAYO N°1			
ZONAS	MUESTRA POSITIVA	TOTAL DE MUESTRAS	%
Pie de monte	0	12	0
Transición	0	12	0
Llanura chaqueña	0	12	0
TOTAL			
3	0	36	0

El resultado obtenido durante el primer ensayo realizado en laboratorio fue de 0 % de muestras positivas, posiblemente debido a que las muestras de suelos fueron recolectadas en un periodo de bajas temperaturas y de bajo contenido de humedad en el suelo (junio); además, los productores en los meses previos a junio, realizan un uso constante de agroquímicos para mantener la sanidad de sus cultivos, siendo estos factores importantes tomarlos en cuenta, ya que los mismos pueden provocar un periodo de dormancia en *Trichoderma spp.*

ii. Segundo muestreo y análisis de laboratorio

Tabla 2. Resultados del segundo ensayo

ENSAYO N°2			
ZONAS	MUESTRA POSITIVA	TOTAL DE MUESTRAS	%
Pie de monte	3	12	25
Transición	0	12	0
Llanura chaqueña	1	12	8,33
TOTAL			
3	4	36	33,33

En el segundo ensayo realizado en laboratorio en la zona de pie de monte se presentó un 25 % de muestras positivas; en la zona de transición un 0 % y en la zona de la llanura chaqueña un 8,33 % de muestras positivas, posiblemente debido a las condiciones climáticas presentes al momento del muestreo, especialmente a condiciones favorables de temperatura y humedad del suelo, lo cual ha permitido una mayor actividad microbiológica y de *Trichoderma spp.* en el suelo, además de otras condiciones como una abundancia en raíces, de materia orgánica y el poco uso de agroquímicos en

los meses de muestreo (noviembre y diciembre), esto puede ser debido a que son zonas de monte sin cultivar a diferencias de las zonas cultivables donde no se obtuvieron muestras positivas y el uso de agroquímicos es más fuerte.

iii. Identificación según la zona de origen

La identificación de *Trichoderma spp.* en la zona georreferenciada se muestra en la siguiente tabla:

Aislado	Origen	Identificación
TY3	Sanandita, zona de pie de monte	<i>Trichoderma spp.</i>
TY11	Aguayrenda, zona de pie de monte I	<i>Trichoderma spp.</i>
TY12	Aguayrenda, zona de pie de monte II	<i>Trichoderma spp.</i>
TY26	Llanura seca, zona de llanura chaqueña	<i>Trichoderma spp.</i>

Tabla 3. Identificación de las muestras aisladas y su origen geográfico

Las zonas muestreadas de pie de monte son las que presentaron mayores muestras positivas (TY3; TY11; TY12), seguido de la llanura chaqueña (TY26), esto posiblemente se deba a que los lugares muestreados tienen menor intervención humana y se encuentran cerca de quebradas, que están apartadas de los campos agrícolas y no utilizan agroquímicos en exceso. Los lugares donde se identificó *Trichoderma spp.* pueden proporcionar una ventaja en el caso del control de las enfermedades fúngicas, ya que las cepas estarán mejor adaptadas para inhibir al patógeno en el suelo y su efectividad durante el control será mayor al momento de aplicarlo.

3.2.4. Efectividad en biocontrol de *Trichoderma spp.*

Para observar la efectividad se realizaron aislamientos de *Trichoderma spp.* de las muestras que salieron positivas a este hongo.

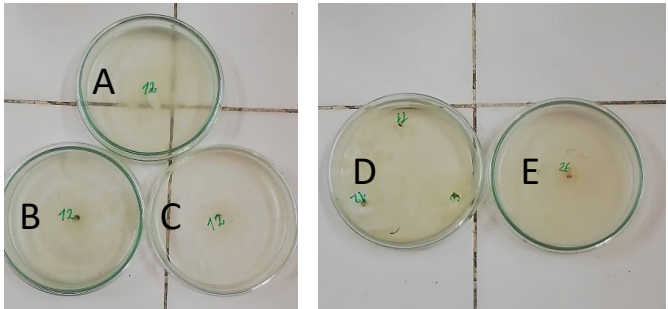


Figura 4. Siembra en placa de muestras

Figura 4. A), B) y C) Muestras aisladas de la comunidad de Aguayrenda, zona de monte natural, tres replicas, D) Siembra de tres aislados de las comunidades de Aguayrenda y Sanandita, para ver su respuesta de crecimiento en conjunto, E) Muestra aislada de la comunidad de Llanura seca, zona de monte natural, tres réplicas por muestra.

Se realizó el aislamiento de muestras de *Trichoderma*, en tres repeticiones de cada una y una muestra en conjunto, además del aislamiento del hongo fitopatógeno de *Fusarium sp.*

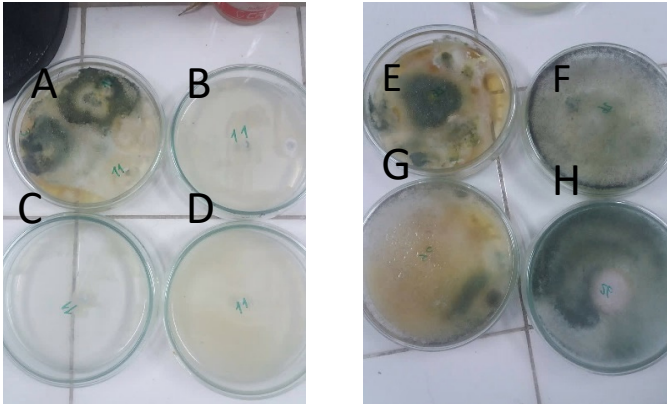


Figura 5. Crecimiento del hongo – cuatro días

Figura 5. A) Al cuarto día de crecimiento de la muestra combinada mostró el crecimiento micelar del hongo en estudio de las muestras TY3 - Sanandita y TY12 – Aguayrenda, mientras que la muestra TY11 no muestra ninguna actividad, B), C) y D) No presentó crecimiento en muestras TY11 – Aguayrenda, E) y G) Las muestras fueron contaminadas por virus y hongos que no fueron identificados al microscopio, F) y H) Mostró un crecimiento más uniforme de *Trichoderma*, controlando el crecimiento del otro hongo identificado como *Fusarium sp.*

Algunos factores ambientales presentan algún tipo de influencia sobre la eficacia de biocontrol de *Trichoderma spp.*, tales como, la temperatura, humedad, el pH, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de agroquímicos, iones metálicos y bacterias antagonistas en el suelo. La temperatura junto con la humedad influye sobre la germinación de las esporas y el desarrollo del tubo germinativo, así como en su distribución y actividad, por lo que podrían llegar a considerarse en determinadas situaciones como un factor limitante.

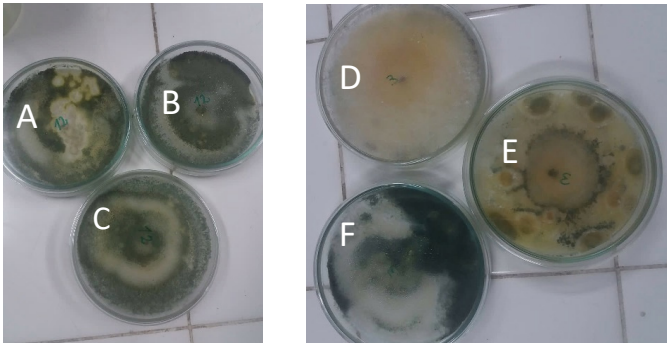


Figura 6. Crecimiento del hongo – seis días

Figura 6. A) Cultivo de *Trichoderma* contaminado con una bacteria, muestra TY12, B) y C) Cultivos de *Trichoderma* mostrando un crecimiento uniforme a los seis días, muestra TY12 - Aguayrenda, D) y E) Muestras contaminadas con virus y bacterias disminuyendo el crecimiento parcial de *Trichoderma*, muestra TY3 – Sanandita, F) Muestra TY3 de *Trichoderma spp.* contaminada con *Fusarium sp.*

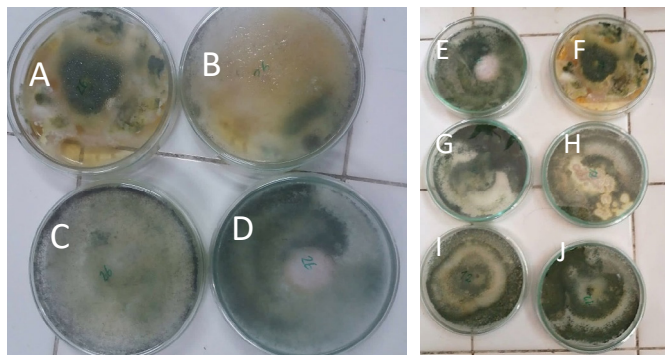


Figura 7. Crecimiento del hongo – ocho días

Figura 7. A), B), F), G) y H) Lucha de espacio y sustrato de *Trichoderma* con virus y bacterias, C) *Trichoderma* sin crecimiento por invasión del hongo patógeno, D) y E) Control efectivo de *Trichoderma* spp. a *Fusarium* sp., I) y J) Crecimiento rápido de *Trichoderma* controlando al hongo contaminante.



Figura 8. Capacidad antagonística de *Trichoderma* contra *Fusarium* – Muestra TY26

Figura 8. Capacidad antagonística de *Trichoderma* spp. nativo contra *Fusarium* sp. identificado al microscopio., crecimiento de 5 días (foto izquierda), crecimiento de 8 días (foto derecha)

La capacidad antagonística de *Trichoderma* spp. se impuso ante la presencia del patógeno, presentando una inhibición y supresión en su crecimiento en las muestras TY3, TY12 y TY26; al presentar estos resultados se debe continuar realizando pruebas en laboratorio y corroborar estos con estudios en campo, ya que la información puede variar.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sobre la Identificación del hongo *Trichoderma* spp. en tres ecorregiones del municipio de Yacuiba reflejan patrones consistentes con investigaciones previas enfocadas en la identificación del hongo.

4.1. Variables climatológicas

4.1.1. Temperatura

Durante el primer muestreo, realizado en junio de 2021, las temperaturas promedio registradas en las tres zonas de estudio fueron: 12,85 °C en la zona de pie de monte, 13,98 °C en la zona de transición y 18,46 °C en la llanura

chaqueña. Estos valores se encuentran por debajo o en el límite inferior del rango óptimo de desarrollo de *Trichoderma* spp., según diversos autores. Kredic Antal Z (1994) citado por Ayarde (2018), indica que la temperatura óptima para el crecimiento de estos hongos varía entre especies, pero en general se sitúa entre los 15 y 30 °C. Por su parte, Cruz *et al.* (2015) mencionan que la temperatura ideal para el desarrollo de *Trichoderma* spp. oscila entre los 28 y 35 °C. Vásquez (2010) clasifica a *Trichoderma* como un microorganismo mesófilo, con un rango óptimo de crecimiento entre 25 y 30 °C, mientras que Acosta (2015) señala que las condiciones óptimas para su desarrollo y esporulación rondan los 25 °C.

En particular, las temperaturas registradas en las zonas de pie de monte y transición estuvieron por debajo del umbral mínimo de 15 °C reportado por Kredic Antal Z (1994) citado por Ayarde (2018), lo que podría haber limitado o afectado negativamente los procesos de germinación, crecimiento y esporulación de *Trichoderma* spp. durante ese periodo.

En contraste, durante el segundo muestreo, realizado en los meses de noviembre y diciembre de 2021, las temperaturas registradas en todas las zonas de estudio se situaron dentro, o muy próximas, al rango óptimo de desarrollo de *Trichoderma* spp., según lo establecido en la literatura especializada. En la zona de pie de monte, las temperaturas fueron de 24,56 °C y 25,92 °C, valores que coinciden con los rangos óptimos señalados por Vásquez (2010) y Acosta (2015). De igual manera, en la zona de transición se registraron temperaturas de 24,35 °C y 27,11 °C, también alineadas con las condiciones ideales reportadas. Por su parte, la llanura chaqueña presentó condiciones aún más favorables, con temperaturas de 27,34 °C y 29,02 °C, ubicándose dentro del rango superior propuesto por Cruz *et al.* (2015), quien sugiere un intervalo óptimo de entre 28 y 35 °C para el desarrollo de *Trichoderma* spp.

Este marcado contraste térmico entre ambos periodos de muestreo permite inferir que tanto la variabilidad estacional como la ubicación geográfica ejercen una influencia significativa sobre el comportamiento y el potencial desarrollo de *Trichoderma* spp. en condiciones de campo. Las temperaturas más elevadas registradas durante el segundo muestreo coinciden con los rangos óptimos reportados por la mayoría de los autores consultados, lo cual sugiere que dicho periodo fue más favorable para la actividad biológica de este hongo.

4.1.2. Precipitación

Durante el primer muestreo realizado en junio, los niveles de precipitación fueron considerablemente bajos, registrándose menos de 8 mm en todas las zonas estudiadas. Esta situación sugiere una humedad ambiental inferior al umbral necesario para mantener una actividad microbiana adecuada. Este hallazgo coincide con lo planteado por Muiño (1994) citado por Ayarde (2018), quien señala que niveles de humedad

inferiores al 30 % pueden interferir con el metabolismo de los hongos, constituyéndose en un factor limitante para su desarrollo.

En contraste, los niveles de precipitación registrados durante el segundo muestreo fueron significativamente mayores: 96,77 y 112,82 mm en la zona de pie de monte; 136,70 y 92,00 mm en la zona de transición; y 100,4 y 97,79 mm en la zona de llanura chaqueña. Estos valores coinciden con los rangos óptimos de humedad descritos en la literatura para el desarrollo de hongos filamentosos como *Trichoderma*. Según Vásquez (2010), *Trichoderma* puede sobrevivir en un amplio rango de humedad (20 % a 90 %), aunque su crecimiento óptimo se da entre el 70 % y el 80 %. Por lo tanto, es razonable inferir que las condiciones observadas durante el segundo período de muestreo favorecieron la germinación de esporas, la expansión del micelio y la actividad metabólica del hongo.

Esta afirmación está respaldada por Kredics *et al.* (2003), citado por Guerrero (2016), quienes destacan el papel fundamental que desempeña la humedad en dichos procesos.

Además, el hecho de que las tres zonas hayan experimentado un incremento significativo en la precipitación hacia finales del año indica que la variación temporal de las condiciones climáticas puede tener un impacto directo en la composición y actividad microbiana del suelo. Esta dinámica influye potencialmente en la eficacia de hongos benéficos como *Trichoderma* en aplicaciones biológicas, tales como el biocontrol y la biofertilización.

4.2. Variables evaluadas relacionadas a *Trichoderma* spp.

4.2.1. Identificación en laboratorio

i. Características macroscópicas del hongo *Trichoderma* spp.

Las características morfológicas observadas en los cultivos de *Trichoderma* spp. permiten una identificación preliminar confiable a nivel de género, tal como se ha reportado en múltiples estudios. La presencia de anillos concéntricos y la coloración verde en la zona de esporulación son rasgos distintivos que facilitan su diferenciación de otros géneros micológicos.

Asimismo, la esponjosidad del micelio y la pigmentación observada apoyan la idea de que el aislamiento corresponde efectivamente a un representante del género *Trichoderma*, aunque se reconoce que para una identificación específica a nivel de especie es necesario complementar el análisis morfológico con técnicas moleculares.

Los resultados obtenidos concuerdan ampliamente con lo descrito por Chávez (2006), citado por Ayarde (2018), quienes mencionan que las colonias de *Trichoderma* se caracterizan por su crecimiento rápido y su coloración blanca a verde, así como la presencia de

anillos concéntricos formados por conidios. Asimismo, se coincide en que el micelio presenta una textura esponjosa, y que la pigmentación conidial varía desde verde claro hasta verde oscuro.

En cuanto al revés de las colonias, los resultados obtenidos también son consistentes con lo reportado en la literatura, ya que se observaron colonias con reverso incoloro o con tonalidades que variaban entre amarillo y verde ámbar.

ii. Características microscópicas del hongo *Trichoderma* spp.

La observación microscópica de las estructuras fúngicas aisladas permitió una identificación preliminar confiable del género *Trichoderma* spp. Las características encontradas conidióforos ramificados en forma de árbol, penachos compactos, anillos concéntricos y presencia de clamidosporas son consistentes con las descripciones morfológicas tradicionales reportadas en la literatura especializada. Los resultados obtenidos se alinean estrechamente con lo reportado por Chávez (2006), citado por Ayarde (2018), quien describe los conidióforos de *Trichoderma* como estructuras ramificadas, con forma de penachos que generan anillos concéntricos, y con un patrón de ramificación piramidal. Del mismo modo, se confirma la presencia de clamidosporas, tanto intercaladas como terminales, lo cual es reportado como característico en diversas especies del género.

La escasez de micelio visible podría atribuirse a factores como el tiempo de incubación, condiciones de cultivo o el tipo de medio utilizado. No obstante, la forma de las estructuras reproductivas fue suficiente para sugerir la pertenencia al género *Trichoderma*. La forma piramidal e irregular de la ramificación de los conidióforos es un rasgo distintivo que facilita su diferenciación de otros hongos filamentosos.

4.2.2. Identificación mediante claves taxonómicas

La combinación de observaciones macro y microscópicas con el uso de claves dicotómicas demostró ser un método eficaz para la identificación preliminar de *Trichoderma* spp. en este estudio. La morfología de las colonias, junto con los patrones de crecimiento y pigmentación, permitió diferenciar a este género de otros hongos filamentosos. Las estructuras microscópicas, particularmente los conidióforos ramificados en forma de penacho y la presencia de clamidosporas, ofrecieron información para su identificación.

La bibliografía consultada respalda plenamente los resultados obtenidos. La coincidencia con las descripciones de Chávez (2006) citado por Ayarde (2018), Gams & Bisett (1998) citados por Vallejo (2014), coinciden en que la identificación del género *Trichoderma* puede realizarse rápidamente gracias a sus características morfológicas distintivas y Ayarde (2018), resalta la utilidad de las claves dicotómicas como

herramienta fundamental en la Botánica Sistemática, tanto para plantas como para hongos, incluyendo géneros de interés agrícola como *Trichoderma*. refuerza la fiabilidad del diagnóstico basado en características morfológicas.

4.2.3. Determinación de la presencia de *Trichoderma spp.*

i. Primer muestreo y análisis de laboratorio

El resultado obtenido durante el primer ensayo realizado en laboratorio fue de 0 % de muestras positivas, posiblemente debido a que las muestras de suelos fueron recolectadas en un periodo de bajas temperaturas y de bajo contenido de humedad en el suelo (junio) concordando con lo mencionado por Ayarde (2018) y Cruz et al. (2015); además, los productores en los meses previos a junio, realizan un uso constante de agroquímicos para mantener la sanidad de sus cultivos, situación que coincide con lo indicado por Ayarde (2018), siendo estos factores importantes tomarlos en cuenta, ya que los mismos pueden provocar un periodo de dormancia en *Trichoderma spp.*, tal como lo menciona Allori et al. (2017).

ii. Segundo muestreo y análisis de laboratorio

La literatura científica consultada (Andrade, 2012; Chávez, 2006; Tobar, 2008; Guédez et al., 2012; Hoyos et al., 2008) coincide en señalar que *Trichoderma spp.* es un hongo de amplia distribución mundial, especialmente presente en ambientes ricos en materia orgánica, residuos vegetales en descomposición y zonas con alta densidad de raíces, condiciones que favorecen su desarrollo y colonización del sustrato.

Sin embargo, los resultados del segundo ensayo muestran que la presencia de *Trichoderma spp.* fue limitada y heterogénea según la zona geográfica evaluada:

En la zona de pie de monte, se identificó un 25 % de muestras positivas (3 de 12), lo cual concuerda parcialmente con la literatura, ya que esta zona probablemente presenta condiciones ambientales más favorables (mayor humedad, vegetación, y materia orgánica), que facilitan el desarrollo del hongo, tal como lo describen Andrade (2012) y Tobar (2008).

En la zona de transición, no se detectó presencia de *Trichoderma spp.* (0 % de muestras positivas), lo que contrasta con lo reportado en la literatura, que resalta la gran adaptabilidad del hongo a diferentes zonas de vida. Esto sugiere que en esta zona específica podría haber factores limitantes como baja materia orgánica, uso intensivo de agroquímicos, o condiciones edafoclimáticas adversas que restringen su desarrollo, a pesar de su conocida resistencia (Guédez et al., 2012).

En la llanura chaqueña, se observó una presencia muy baja (8,33 %; 1 de 12 muestras), lo cual también difiere de lo esperado según los antecedentes, aunque podría

explicarse por características edáficas más pobres, menor cobertura vegetal o actividad agrícola intensiva, factores que limitan la colonización por *Trichoderma spp.*, a pesar de su capacidad para sobrevivir en ambientes hostiles (Hoyos et al., 2008 citado por Samaniego et al., 2018).

iii. Identificación según la zona de origen

Los resultados obtenidos en las zonas de pie de monte, que presentan una mayor actividad del hongo en comparación con la llanura chaqueña, refuerzan la hipótesis de que las condiciones ambientales y el grado de intervención humana influyen significativamente en la presencia y actividad de microorganismos beneficiosos como *Trichoderma spp.*. La proximidad a quebradas y la baja intervención en estas áreas parecen favorecer un ambiente propicio para el desarrollo de hongos con potencial biocontrolador.

Este hallazgo coincide con lo señalado por Domínguez (1994), citado por Vallejo (2014), quien resalta la importancia de obtener aislamientos nativos para el desarrollo de agentes de control biológico, debido a que estos se adaptan mejor a las condiciones agroecológicas regionales. Además, Vallejo indica que ecosistemas con baja intervención humana, como quebradas, bosques nativos y regiones alejadas de la agricultura convencional, son propicios para la obtención de estos aislamientos, lo cual concuerda con las condiciones observadas en el pie de monte.

Por otro lado, Falconi (2010) destaca que, aunque existen formulados comerciales de *Trichoderma spp.* para el control de hongos fitopatógenos, la efectividad de estos productos varía según las condiciones ambientales específicas de cada región. Esto respalda la necesidad de realizar estudios locales para evaluar la eficacia y actividad del microorganismo, tal como se ha hecho en este estudio con las zonas muestreadas.

4.2.4. Efectividad en biocontrol de *Trichoderma spp.*

Los resultados obtenidos en el desarrollo y actividad antagónica de *Trichoderma spp.* coinciden con lo reportado en la literatura especializada. A los cuatro días de la siembra en placas se observó el inicio del desarrollo de *Trichoderma* junto con otros agentes contaminantes, lo que refleja la dificultad para evitar contaminaciones en medios y materiales, tal como se indica en las consideraciones sobre fuentes de contaminación ambiental (Guerrero, 2016).

Diversos factores ambientales influyen en la eficacia del biocontrol ejercido por *Trichoderma spp.*, destacándose la temperatura y la humedad, que afectan la germinación de esporas y el crecimiento del tubo germinativo (Kredics et al., 2003 citado por Guerrero, 2016). Esto es clave para entender la variabilidad observada en los ensayos, donde las muestras TY12 y TY26 mostraron mayor capacidad inhibitoria sobre el patógeno, en concordancia con lo reportado por Mpika et al. (2009) y Guerrero

(2016), quienes evidencian una correlación positiva entre resultados in vitro y ensayos de campo.

El mecanismo de acción de *Trichoderma* ha sido ampliamente estudiado; Andrade (2012) describe que la combinación de competencia por nutrientes, producción de metabolitos antifúngicos, enzimas hidrolíticas y micoparasitismo es fundamental para su capacidad antagonista. Este último proceso, detallado por Ayarde (2018), incluye etapas complejas de interacción con el patógeno que terminan con la producción de enzimas líticas (quitinasas, glucanasas, proteasas), las cuales degradan la pared celular y permiten la penetración de las hifas de *Trichoderma*.

Por otro lado, la definición de biocontrol dada por Eilenberg *et al.* (2001) y citada por Samaniego *et al.* (2018), como la supresión del impacto de una plaga mediante organismos, se cumple en los resultados observados, donde *Trichoderma* mostró una inhibición significativa sobre *Fusarium sp.*, uno de los fitopatógenos de mayor importancia según Infante (2009). La capacidad de *Trichoderma* para reducir la germinación y crecimiento de *Fusarium* también ha sido reportada por Sivan & Chet (1989) y confirmada en trabajos posteriores, como los de Jena y Panigrahi (2017), quienes demostraron la inhibición completa de *Fusarium moniliforme* por cepas de *T. viride*.

Los resultados del presente estudio, en los que dos de tres réplicas de las muestras TY12 y TY26 inhibieron el patógeno, apoyan la idea de que *Trichoderma* spp. posee un fuerte potencial biocontrolador, coincidiendo con la literatura y sugiriendo la necesidad de realizar ensayos complementarios en condiciones de campo para validar estos hallazgos (Guerrero, 2016).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, O. (2015). *Comportamiento de Trichoderma sp. bajo diferentes condiciones de laboratorio* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Universidad Técnica de Ambato.
- Allori, S., Yasem de Romero, M., & Ploper, L. (2017). Evaluación de sustratos para la producción de esporas de *Trichoderma* y estudio del crecimiento en arroz de las cepas antagonistas TPT03, TPT02, MRT35 y MRT40. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 37(1), 57–66.
- Andrade, C. (2012). *Evaluación del efecto de la aplicación de Trichoderma harzianum y Trichoderma viride para el control de marchitez en mora de castilla (Rubus glaucus Benth) en el cantón Pillaro, provincia de Tungurahua* [Tesis de grado, Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH].
- Ayarde, B. (2018). *Identificación y evaluación poblacional del hongo Trichoderma sp. presente en los suelos del centro experimental de Chocloca* [Tesina de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- Chávez, G., Mamani, M., Espinal, C., Tenorio, R., Crespo, C., & Álvarez, M. (2014). Potencial de cepas fúngicas aisladas en el área de Biotecnología Fúngica. Segunda parte: Biocontroladores fúngicos. *Revista Con-Ciencia*, 2(1), 47–54.
- Cruz, M., Hernández, G., & Hernández, F. (2015). *Influencia de la actividad de agua y la temperatura en el desarrollo de aislamientos nativos de Trichoderma spp. procedentes de la rizosfera de caña de azúcar* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca].
- Falconí, C. (2010). *Manual de taxonomía de Trichoderma spp.* Microorganismos Agrícolas Ecuatorianos.
- Guédez, C., Cañizalez, L. M., Castillo, C., & Olivar, R. (2012). Evaluación in vitro de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*.
- Guerrero, R. (2016). *Selección y efectividad del uso de aislamientos de Trichoderma spp. para el control del cancro bacteriano (Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis) del tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata].
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87(1), 4–10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos

Artículo de Investigación

Determinación de las características físicas de los suelos agrícolas del fundo San Francisco del Inti, municipio de Yacuiba

“Determination of the physical characteristics of the agricultural soils of the San Francisco del Inti farm, municipality of Yacuiba”

Heredia Alfaro Matias Armando¹ ORCID: 0009-0008-5256-6475, Alvarado Vedia Federico² ORCID: 0009-0002-3837-9899

¹ Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ² Docente Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología – Carrera de Ingeniería Agronómica

Correspondencia del autor principal (es): matiasherediaalfaro@gmail.com

Celular: (+591) 71867946

RESUMEN

Los problemas de bajos rendimientos, reducción de las cosechas y en algunos casos el abandono de los terrenos por la degradación de los suelos, son observados con mucha preocupación por los productores de la región que poseen terrenos similares a esta propiedad.

En este sentido se planteó como principal objetivo determinar las principales propiedades físicas de los suelos del fundo San Francisco del Inti, propiedad de la carrera de agronomía, dependiente de la F.I.R.N. y T. de la U.A.J.M.S., comparando con resultados obtenidos en el año 2008.

Se obtuvieron los siguientes resultados: el área I, presenta clase textural franco arcillo arenosa a arcillo arenosa, densidad aparente de 1,55 a 1,61 g/cm³ y contenido de materia orgánica de 4,20 a 3,01 %; mientras que el área II, clase textural franco arcillo arenosa, densidad aparente de 1,54 a 1,58 g/cm³ y contenido de materia orgánica de 4,16 a 2,22 %, observándose en estos 12 años, degradación en la densidad aparente (compactación) y una mejoría en el contenido de materia orgánica de las dos áreas agrícolas. En el área 1, se recomienda realizar prácticas de labranza vertical a una profundidad de 40 a 50 cm para descompactar el suelo y en el área II, practicar la labranza vertical, así mismo, para ambas áreas estudiadas se debe practicar la siembra directa manteniendo la cobertura muerta superficial, además de mejorar los niveles de materia orgánica a través de la incorporación de abonos verdes como: lab lab, crotalaria y mucuna. Realizar el mismo diagnóstico de todas las propiedades físicas en primavera - verano debido a que los contenidos de humedad y temperatura son variables.

PALABRAS CLAVE

Suelos, propiedades físicas, degradación.

ABSTRACT

The problems of low yields, reduced harvests, and in some cases the abandonment of land due to soil degradation are viewed with great concern by producers in the region who own land similar to this property.

In this regard, the main objective was to determine the main physical properties of the soils of the San Francisco del Inti farm, owned by the agronomy department of the F.I.R.N. and T. of the U.A.J.M.S., comparing them with results obtained in 2008.

The following results were obtained: area I has a sandy loam to sandy clay texture, an apparent density of 1.55 to 1.61 g/cm³, and an organic matter content of 4.20 to 3.01%; while area II has a sandy loam to sandy clay texture, an apparent density of 1.54 to 1.58 g/cm³, and an organic matter content of 4.16 to 2.22%. Over the past 12 years, a decrease in apparent density (compaction) and an improvement in organic matter content have been observed in both agricultural areas. In area 1, it is recommended to carry out vertical tillage practices at a depth of 40 to 50 cm to decompact the soil, and in area II, to practice vertical tillage as well. Likewise, for both areas studied, direct sowing should be practiced while maintaining surface dead cover, in addition to improving organic matter levels through the incorporation of green manure such as lab lab, crotalaria, and mucuna. Perform the same diagnosis of all physical properties in spring and summer because moisture and temperature contents are variable.

KEYWORDS

Soils, physical properties, degradation

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas de bajos rendimientos, reducción de las cosechas y en algunos casos el abandono de los terrenos por la degradación de los suelos, son observados con mucha preocupación por los productores de la región, así mismo, no existe información generada por centros de investigación y mucho menos propuestas de investigación de ninguna institución de la región sobre el tema planteado.

En el fundo San Francisco del Inti, propiedad de la carrera de Ingeniería agronómica, desde hace aproximadamente 40 años, es decir desde su habilitación para la agricultura, se ha practicado una continua labranza convencional de los suelos mediante implementos de disco, el monocultivo y otras prácticas inapropiadas que contribuyen a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos son el resultado de la interacción que se origina entre las distintas fases del mismo (suelo, agua y aire) y la proporción en la que se encuentran cada una de estas. La condición física de un suelo determina su capacidad de sostenimiento, facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje, retención de nutrientes, entre otros factores (INTAGRI, 2017).

Ingaramo (2003), elaboró un estudio de los indicadores físicos de la degradación del suelo en la comunidad autónoma de Galicia (España), la metodología utilizada para determinar los indicadores físicos fueron: textura (método de sedimentación y el método de la desviación de partículas con rayo láser), densidad real (método del picnómetro), densidad aparente (método del cilindro), resistencia mecánica a la penetración (Bush Soil Penetrometer SP 1000) y el contenido de materia orgánica (método Sauerlandt).

Aldana (2008), realizó un trabajo en el fundo San Francisco del Inti, Tarija, Bolivia, titulado: identificación y evaluación de la degradación del suelo empleando métodos de caracterización física y química, la metodología utilizada fue: densidad aparente (método del cilindro), porosidad total (calculó los valores de densidad aparente y densidad real), resistencia del suelo a la penetración (penetrómetro de golpe con sonda de punta cónica), la velocidad de infiltración (método del cilindro) y el contenido de materia orgánica (método Walkley y Black), obteniendo como resultados; que la densidad aparente oscilaba de 1,40 a 1,49 g/cm³; se evidenció el bajo contenido de materia orgánica en el terreno plano de pie de monte y área de las terrazas.

Realizar investigaciones sobre este tema es conveniente desde el punto de vista productivo, económico, social

y ambiental, para que los docentes, estudiantes y productores agropecuarios dispongan de información sobre el tipo de manejo de los suelos que se practica en la región, considerando que esta problemática es común en todos los suelos bajo producción agrícola del municipio de Yacuiba; la aplicación de estos conocimientos permitirá diseñar un plan de manejo y recuperación de los suelos en los terrenos del fundo San Francisco del Inti, el mismo que podría convertirse en un centro de referencia para promover un cambio de actitud en los agricultores de la región.

El objetivo general del presente trabajo fue determinar las principales propiedades físicas de los suelos cultivables pertenecientes a la carrera de agronomía, dependiente de la F.I.R.N. y T. de la U.A.J.M.S., ubicado en San Francisco del Inti.

Los objetivos específicos: Determinar las principales propiedades físicas de los suelos cultivables a profundidades del perfil de 0 a 15, 15 a 30, 30 a 45 y 45 a 60 cm, en dos condiciones de pendiente. Evaluar la influencia de 12 años de laboreo en las propiedades físicas del suelo, en base a los valores obtenidos en el estudio realizado en el año 2008. Determinar el nivel de degradación de las principales propiedades físicas de los suelos cultivables.

Las hipótesis planteadas se describen a continuación:

Hipótesis alterna

Todos los suelos de los terrenos cultivables en estudio, presentan algún nivel de degradación en sus principales propiedades físicas.

Hipótesis nula

Todos los suelos de los terrenos cultivables en estudio, no presentan degradación en sus principales propiedades físicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el fundo San Francisco del Inti, propiedad de la carrera de Ingeniería agronómica, dependiente de la Facultad de Ingeniería en Recursos Naturales y Tecnología, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado a 32 km de la ciudad de Yacuiba, al margen izquierdo de la carretera nacional Yacuiba – Santa Cruz, propiedad que tiene una superficie de 148 ha. Geográficamente está situada a 21°47'56" de latitud sur y 63°36'18" de longitud oeste, a una altura de 603 m.s.n.m.



Figura 1. Áreas de estudio

2.1. Materiales

2.1.1. Material de campo

- GPS
- Wincha
- Machete
- Picota
- Azada
- Pala
- Regla de 30 cm
- Cámara fotográfica
- Cilindros para toma de muestra
- Formulario para la descripción de perfiles
- Bolsas de polietileno

2.1.2. Material de laboratorio

- Balanza electrónica
- Recipiente metálico
- Muffa
- Cocina eléctrica
- Probeta
- Espátula
- Piseta
- Pinza metálica
- Picnómetro
- Cronómetro
- Cilindros
- Olla de aluminio
- Termómetro

2.1.3. Material de gabinete

- Cuaderno
- Lapiceras
- Hojas bond
- Tablero portapapeles
- Computadora
- Impresora
- Marcadores

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo de investigación

Enfoque cuantitativo, investigación aplicada, descriptivo, no experimental analítico de laboratorio y de campo.

No existe un diseño experimental en particular. Por lo tanto, para el análisis de resultados se utilizaron valores promedio, la prueba de t student, coeficiente de variación, desviación estándar y gráficas, cuadros y otros.

2.2.2. Selección y ubicación de las calicatas

Para la selección y ubicación de las calicatas se tomó en cuenta los criterios de la capacidad productiva, logrando que dichas calicatas estén distribuidas aleatoriamente en toda el área en estudio. Se realizaron 20 calicatas; 10 calicatas en el área I (zona plana) y 10 calicatas en el área II (zona de terrazas).

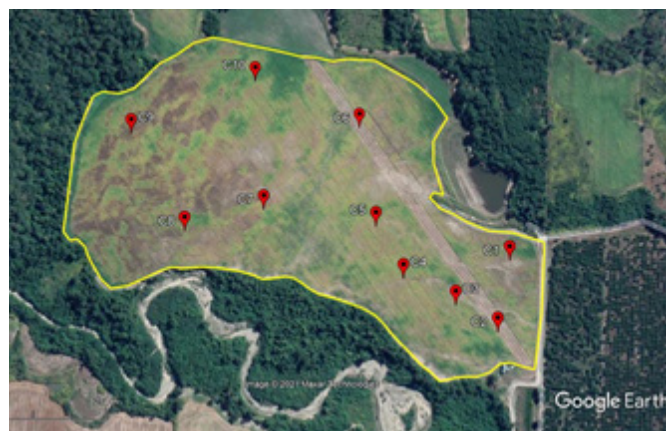


Figura 2. Ubicación geográfica área I (zona plana)



Figura 3. Ubicación geográfica área II (zona de terrazas)

La descripción detallada de los perfiles se realizó en las calicatas cuya dimensión fue de 1 m de ancho, 1,5 m de largo y una profundidad de 0,80 m; orientadas hacia la luz solar del día, se tomó en cuenta los criterios anteriormente mencionados, prestando atención especial a la identificación y observación de una posible degradación física.

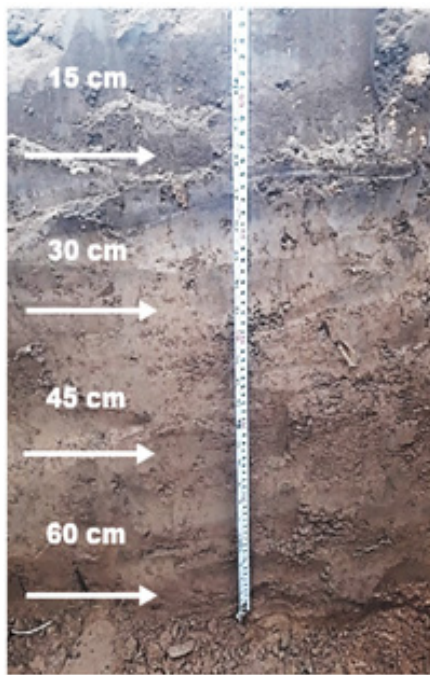


Figura 4. Perfil del suelo

2.2.3. Evaluación de las propiedades físicas

La evaluación de las propiedades físicas de los suelos cultivables del fundo de San Francisco del Inti, se realizó en el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería agronómica ubicado en El Palmar.

i. Variables medidas

- **Textura**

La textura se determinó por el método de sedimentación, utilizando el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la aplicación HFTextura.

- **Densidad real**

La determinación de la densidad real se llevó a cabo mediante el método del picnómetro.

- **Densidad aparente**

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro y se extrajo las muestras de abajo hacia arriba del perfil en cada capa de 15 cm de espesor, empleando cilindros metálicos de 5 cm de alto por 5 cm de diámetro.

- **Porosidad total**

La porosidad se calculó a partir de la densidad real, densidad aparente y la diferencia de volúmenes por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Porosidad total (\%)} = \frac{(D_r - D_a)}{D_r}$$

Donde:

Dr: Densidad real

Da: Densidad aparente

- **Contenido de materia orgánica**

Para cuantificar la cantidad de materia orgánica, se aplicó el método de calcinación, el cual permitió la determinación precisa mediante la combustión controlada de la muestra.

2.2.4. Análisis estadístico

Se utilizaron medias, desviación estándar y coeficiente de variación; para hacer un análisis estadístico y verificar si existe o no diferencias entre los valores obtenidos.

3. RESULTADOS

3.1. Variables climatológicas

Las condiciones climatológicas relacionadas a la precipitación y temperatura fueron registradas durante todo el tiempo que demandó el trabajo, corresponden a los meses de junio, julio y agosto.

3.1.1. Precipitación

En el gráfico 1, se presentan los registros de precipitación acumulada para todos los meses del año 2021 y de los meses durante los cuales se desarrolló el trabajo (junio, julio y agosto), así también los registros históricos de precipitación acumulada que corresponden a la media mensual de los últimos 40 años.

Los meses con mayor precipitación para el año 2021 fueron enero con 271,45 y marzo con 258,88 mm y los meses de menor precipitación fueron julio con 0,11 y agosto con 0,04 mm, totalizando una acumulada anual de 1002,47 mm durante el año de la investigación, frente a una precipitación histórica acumulada de 1267,34 mm, siendo esta superior con 264,87 mm con respecto a la del año 2021.

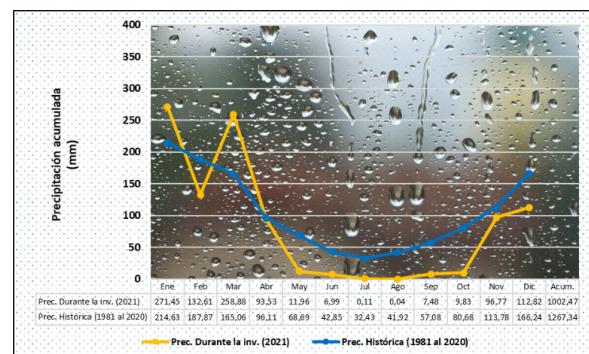


Gráfico 1. Precipitación acumulada durante el año 2021 e histórica de los últimos 40 años (1981 al 2020)

3.1.2. Temperatura

El gráfico 2, muestran los registros de temperatura promedio para todos los meses del año 2021 y de los meses durante los cuales se desarrolló la investigación (junio, julio y agosto), además de los registros históricos de temperaturas promedio de los últimos 40 años. Los meses con mayor temperatura para el año 2021 fueron diciembre con 25,92 y enero con 24,85 °C y los meses con menor temperatura fueron junio con 12,85 y julio con 14,66 °C, con un promedio anual de 20,98 °C durante el año de la investigación, frente a una temperatura promedio histórica, la misma que fue de 21,60 °C, siendo

esta superior con 0,62 °C con respecto al año 2021.

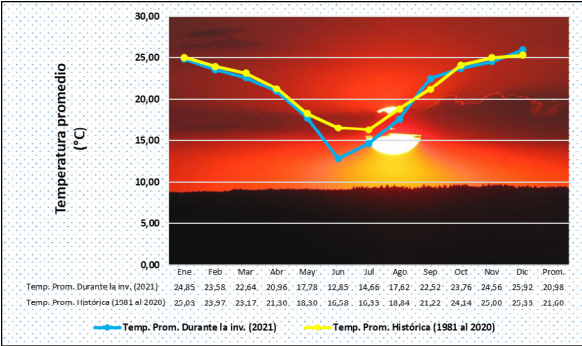


Gráfico 2. Temperatura promedio durante el año 2021 e histórica de los últimos 40 años (1981 al 2020)

3.2. Variables edafológicas

A continuación, se presentan los resultados de las variables evaluadas en el suelo, referidas a las propiedades físicas en las dos áreas de estudio en el fundo San Francisco del Inti.

3.2.1. Textura

En el cuadro 1, se presentan los resultados de la textura del suelo correspondiente al área I (zona plana), en lo referido al porcentaje de arena (A), limo (L) y arcilla (Y).

Cuadro 1. Porcentaje de agregados y clasificación textural - área I

Área	Prof. (cm)	Porcentaje de partículas			Clase textural
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
I	0 - 15	58	8	34	Franco arcillo arenosa
	15 - 30	62	6	32	Franco arcillo arenosa
	30 - 45	57	5	37	Arcillo arenosa
	45 - 60	50	6	44	Arcillo arenosa

Se observa los valores correspondientes a la clase textural para las calicatas realizadas en el área I, correspondiente a la zona plana del fundo de San Francisco del Inti, desde la superficie hasta los 30 cm de profundidad (0 a 30), los suelos presentan una clase textural franco arcillo arenosa; y para la profundidad de (30 a 60 cm) la textura corresponde a arcillo arenosa.

En cuadro 2, se muestran los resultados correspondientes al área II (zona de terrazas).

Cuadro 2. Porcentaje de agregados y clasificación textural - área II

Área	Prof. (cm)	Porcentaje de partículas			Clase textural
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	

II	0 - 15	50	17	33	Franco arcillo arenosa
	15 - 30	53	16	31	Franco arcillo arenosa
	30 - 45	52	16	32	Franco arcillo arenosa
	45 - 60	51	16	33	Franco arcillo arenosa

En el cuadro se contempla los valores correspondientes a la clase textural para las calicatas realizadas en el área II, que corresponden a la zona de terrazas del fundo, desde la superficie hasta los 60 cm de profundidad (0 a 60), los suelos presentan una clase textural franco arcillo arenosa en todas las profundidades del perfil del suelo.

3.2.2. Densidad real

De acuerdo con los resultados obtenidos, el área I presenta una baja densidad real, con valores que oscilan entre 2,49 y 2,55 g/cm³. De manera similar, el área II también muestra una densidad real baja, con un rango comprendido entre 2,45 y 2,49 g/cm³.

3.2.3. Densidad aparente

Los resultados correspondientes a la densidad aparente en las dos áreas agrícolas en estudio, se presentan en los gráficos 3 y 4.

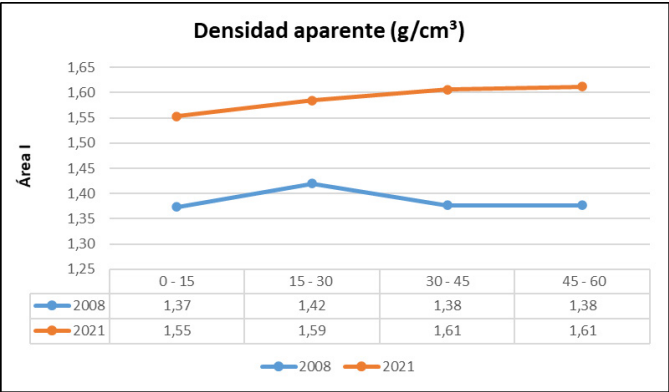


Gráfico 3. Densidad aparente - área I

En el gráfico 3, se observa que la densidad aparente del suelo en el año 2008 se encontraba en un rango de 1,37 a 1,42 g/cm³, lo que indica un nivel de compactación moderado. En contraste, para el año 2021 se registraron valores más elevados, entre 1,55 y 1,61 g/cm³, evidenciando un incremento significativo en la densidad aparente. Estos resultados sugieren que el suelo del área I alcanzó un estado de compactación elevado o condición densa.

Al aplicar la prueba *t* de Student al área I, se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de densidad aparente correspondientes a los años 2008 y 2021. Esta diferencia se presenta de forma consistente en todas las profundidades analizadas dentro del perfil del suelo, lo que indica un cambio estructural relevante en sus propiedades físicas a lo largo del tiempo.

Gráfico 4. Densidad aparente - área II

En el gráfico se observa que la densidad aparente (área II) del suelo en el año 2008 oscilaba entre 1,35 y 1,50 g/cm³, lo que indica que el suelo se encontraba en un nivel de compactación moderado o compactado. En contraste, para el año 2021 se registraron valores entre 1,54 y 1,58 g/cm³, evidenciando un incremento en la densidad aparente.

La aplicación de la prueba *t* de Student al área II evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de densidad aparente registrados en los años 2008 y 2021. Esta diferencia se presenta en todas las profundidades evaluadas del perfil del suelo, lo que indica una modificación importante en sus propiedades físicas a lo largo del tiempo.

3.2.4. Porosidad

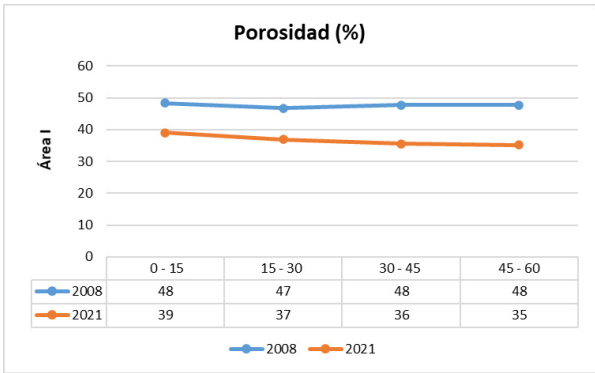


Gráfico 5. Porosidad (%) - área I

Los resultados presentados en el Gráfico 5, así como el análisis e interpretación correspondientes, evidencian que, en el área I, durante el estudio realizado en el año 2008, el suelo presentaba una porosidad comprendida entre el 47 % y el 48 %, lo que lo clasifica como un suelo de porosidad media. En contraste, los resultados obtenidos en el estudio del año 2021 muestran una porosidad en un rango de 35 % a 39 %, dependiendo de la profundidad evaluada.

La prueba *t* de Student aplicada a los datos del área I revela una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de porosidad registrados en los años 2008 y 2021, en todas las profundidades analizadas del perfil del suelo.

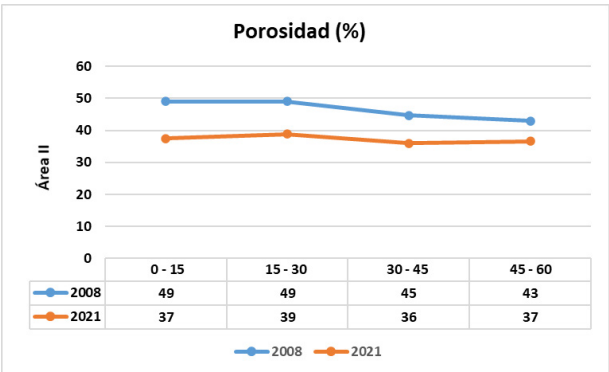


Gráfico 6. Porosidad (%) - área II

En el gráfico 6, se presentan los resultados de porosidad del suelo en el área II realizado en el año 2008, el mismo que varía de 49 a 43 %, cuya clasificación corresponde a un suelo de porosidad media a baja, comparando con los resultados del año 2021, cuya porosidad del suelo estaba comprendida entre 39 a 36 % en sus diferentes profundidades del perfil del suelo, clasificándose como un suelo de porosidad muy baja.

Realizada la prueba de *t* de student para los valores correspondientes al área II, se observa que, si existe diferencia estadística significativa entre los valores promedios del año 2008 y 2021, respecto al porcentaje de porosidad en todas las profundidades estudiadas.

3.2.5. Contenido de materia orgánica

En los gráficos 7 y 8, se presentan los resultados del contenido porcentual de materia orgánica en los suelos de las dos áreas de estudio.

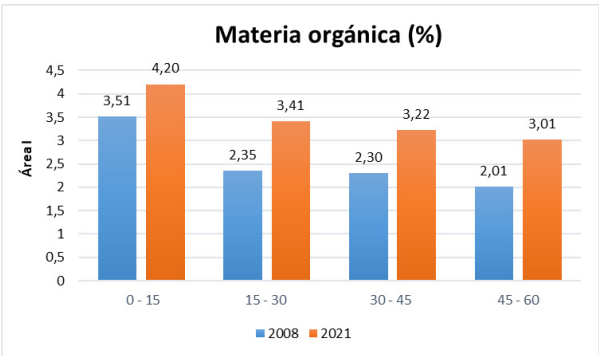


Gráfico 7. Contenido de materia orgánica correspondiente al área I

En el área I, el estudio de 2008 mostró un contenido de materia orgánica entre 3,51 % y 2,01 % en los primeros 60 cm del perfil del suelo, clasificándolo como de contenido medio a alto. En 2021, los valores aumentaron, oscilando entre 4,20 % y 3,01 %, lo que indica un alto contenido. En ambos años, se observó que la materia orgánica disminuye con la profundidad, concentrándose en los primeros centímetros. La prueba *t* de Student confirmó una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de ambos estudios en todas las profundidades analizadas.

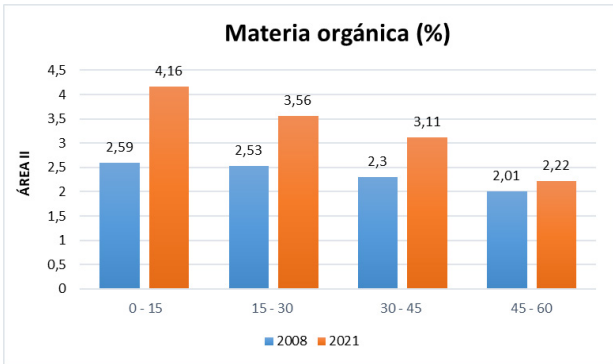


Gráfico 8. Contenido de materia orgánica correspondiente al área II

En la gráfica 8, correspondiente al área II (zona de terrazas) se observa que, durante el estudio realizado en el año 2008, el contenido de materia orgánica en el suelo oscilaba entre 2,59 % y 2,01 %, lo que permite clasificarlo como un suelo con contenido medio de materia orgánica. En contraste, los resultados obtenidos en el estudio del año 2021 muestran un incremento significativo en los niveles de materia orgánica: desde la superficie hasta los 45 cm de profundidad, el contenido varía entre 4,16 % y 3,11 %, clasificándose como un suelo con alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, entre los 45 y 60 cm de profundidad, el contenido disminuye a valores inferiores a 2,22 %, lo que lo ubica nuevamente en la categoría de contenido medio. Este comportamiento indica que el contenido de materia orgánica disminuye progresivamente con la profundidad del perfil del suelo.

Asimismo, al aplicar la prueba *t* de Student a los valores obtenidos en el área II, se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios del contenido de materia orgánica correspondientes a los años 2008 y 2021, en todas las profundidades analizadas del perfil del suelo.

4. DISCUSIÓN

4.1. Variables climatológicas

4.1.1. Precipitación

La precipitación total acumulada durante el año 2021 fue de 1002,47 mm, lo cual representa una disminución de 264,87 mm en comparación con la precipitación histórica promedio (1267,34 mm). Esta reducción evidencia una tendencia hacia el déficit hídrico, situación que es coherente con lo señalado por el INIAF (2015), quien advierte que, en la región del Chaco boliviano, las lluvias han disminuido en volumen y su distribución es cada vez más irregular, concentrándose en periodos cortos, con eventos de alta intensidad.

Asimismo, los datos registrados en los meses de mayor precipitación (enero y marzo), con valores de 271,45 mm y 258,88 mm respectivamente, podrían ser considerados lluvias torrenciales. Esto coincide con la afirmación de Aldana (2008), quien sostiene que precipitaciones de esta magnitud pueden liberar grandes cantidades de energía, provocando erosión, abarrancamientos y pérdidas significativas de nutrientes en el suelo.

Por otro lado, los meses de julio y agosto, con apenas 0,11 mm y 0,04 mm, evidencian una marcada sequía estacional, lo cual puede favorecer procesos de encostramiento superficial y desertificación, tal como lo describen Muñoz *et al.* (2002) citado por Alemán (2016) y el INTA (2018). La falta de humedad del suelo en estos periodos genera compactación, pérdida de estructura

y reducción de porosidad, afectando directamente su capacidad de retención de agua y nutrientes.

Finalmente, Colotti (1999), citado por Alemán (2016), resalta el papel de la lluvia como agente activo de erosión, especialmente en terrenos con pendientes pronunciadas o escasa cobertura vegetal. En este contexto, las variaciones en la distribución y volumen de la precipitación observadas en 2021 pueden ser un factor crítico en la degradación física, química y biológica del suelo.

Los resultados obtenidos durante el periodo de investigación muestran una disminución significativa en la precipitación total anual, con concentraciones irregulares y picos extremos en ciertos meses, lo que confirma una tendencia de cambio en el régimen hídrico de la región.

Esta irregularidad no solo afecta la disponibilidad de agua para cultivos, sino que también tiene implicaciones severas en la conservación del suelo. Las lluvias torrenciales observadas en los primeros meses del año reflejan una alta capacidad erosiva, mientras que los meses secos favorecen la compactación superficial. Ambos fenómenos contribuyen a la degradación de la calidad del suelo, tal como se ha documentado ampliamente en la literatura revisada.

En este sentido, se valida lo planteado por autores como Aldana (2008), quien argumenta que la intensidad y concentración temporal de las precipitaciones agravan la pérdida de suelos fértiles, especialmente en regiones con prácticas de manejo inadecuadas. A la vez, se evidencian efectos directos del impacto de las gotas de lluvia en la estructura superficial del suelo, como indican Muñoz *et al.* (2002), que conducen a un aumento en la escorrentía y disminuyen la capacidad de infiltración del agua.

Además, los datos de 2021 refuerzan la preocupación expresada por el INIAF (2015) en relación con la irregularidad climática creciente en la región, lo que podría estar vinculado a fenómenos de mayor escala como el cambio climático y la variabilidad interanual. Esta situación demanda estrategias de adaptación y manejo sostenible de los recursos hídricos y del suelo.

4.1.2. Temperatura

Los datos obtenidos durante el año 2021 indican que los meses con las temperaturas más elevadas fueron diciembre (25,92 °C) y enero (24,85 °C), mientras que junio (12,85 °C) y julio (14,66 °C) registraron las temperaturas más bajas. El promedio anual de 20,98 °C fue ligeramente inferior al promedio histórico, que es de 21,60 °C, con una diferencia de 0,62 °C.

Este comportamiento térmico anual concuerda con lo reportado por EOS (2021) e Ibáñez (2008), quienes señalan que las variaciones de temperatura están fuertemente influenciadas por la estación del año y la radiación solar. La discrepancia observada entre el promedio anual de

2021 y el histórico puede atribuirse a factores climáticos específicos de dicho año, posiblemente relacionados con condiciones atmosféricas o la cobertura vegetal, que afectan la absorción y retención del calor en el suelo.

Asimismo, la presencia de temperaturas bajas durante los meses de invierno coincide con una menor incidencia solar y una mayor cobertura nubosa, lo que contribuye a la reducción de la temperatura del suelo, tal como señala Ibáñez (2008). En contraste, los meses cálidos corresponden a una mayor radiación solar y menor humedad, coincidiendo con las observaciones de GLOBE (2005) y Romero (2015), quienes advierten sobre los efectos negativos del calor excesivo, como el agrietamiento y la pérdida de humedad en el suelo, fenómenos que pueden comprometer la fertilidad y la producción agrícola si no se gestionan adecuadamente.

Estos resultados sugieren que la implementación de estrategias para el manejo de la temperatura del suelo, tales como el uso de mantillo o cultivos de cobertura, puede ser fundamental para mitigar los impactos adversos de las altas temperaturas, tal como se recomienda en la literatura especializada.

4.2. Variables edáficas

4.2.1. Textura

Los datos obtenidos en las calicatas del fundo San Francisco del Inti indican que los suelos de la zona plana (área I) presentan una textura franco arcillo arenosa en la capa superficial (0-30 cm), mientras que a mayor profundidad (30-60 cm) la textura cambia a arcillo arenosa. En contraste, en la zona de terrazas (área II), el suelo mantiene una textura franco arcillo arenosa a lo largo de todo el perfil (0-60 cm).

Estos resultados concuerdan, en términos generales, con las descripciones bibliográficas revisadas. Según Navarro (2019), un suelo franco arcillo arenoso está constituido por un 45 a 80 % de arena, 0 a 28 % de limo y 20 a 35 % de arcilla, características asociadas a una alta productividad agrícola. Esta descripción corresponde con la textura identificada en el área II y en la capa superficial del área I.

Los resultados reflejan la variabilidad espacial y en profundidad de la textura del suelo, un factor clave para la planificación agrícola y el manejo del recurso edáfico. La predominancia de una textura franco arcillo arenosa en la mayoría de las muestras se alinea con las recomendaciones de Navarro (2019), quien destaca su potencial para una alta productividad agrícola.

La transición observada en el área I, de franco arcillo arenoso en superficie a arcillo arenoso en profundidad, podría influir en la capacidad de retención de agua y aireación del suelo, afectando así el desarrollo radicular y la actividad microbológica. Este comportamiento coincide con lo planteado por Camacho *et al.* (2016), quienes establecen una relación directa entre la textura del suelo y los procesos de degradación y productividad.

La revisión bibliográfica también señala que, aunque la textura del suelo no puede modificarse, sí es posible manejarla para mejorar la estructura y fertilidad, principalmente mediante la adición de materia orgánica, como indica el USDA (2017). Este manejo resulta especialmente relevante en áreas con mayor proporción de arcilla, donde una adecuada gestión es fundamental para evitar la compactación y mejorar la porosidad del suelo.

Finalmente, las recomendaciones del INIAF (2015) sobre cultivos específicos para distintas texturas permiten plantear estrategias de uso del suelo acordes con las características identificadas. La textura franco arcillo arenosa resulta favorable para cultivos como maíz, sorgo y soya, lo que sugiere un buen potencial productivo para el fundo San Francisco del Inti, siempre que se implementen prácticas de manejo que contribuyan a mantener o mejorar la calidad del suelo.

4.2.2. Densidad real

Los resultados obtenidos en las áreas I y II indican una baja densidad real del suelo, con valores comprendidos entre 2,45 y 2,55 g/cm³. Estos valores se encuentran por debajo del rango típico reportado en la literatura, donde Vega *et al.* (2017) señalan que la densidad real de los suelos generalmente varía entre 2,60 y 2,75 g/cm³, exceptuando aquellos con alta presencia de materia orgánica. De manera similar, la FAO (2015) establece que una densidad real aproximada de 2,65 g/cm³ es considerada adecuada para suelos destinados a la agricultura.

La discrepancia entre los valores obtenidos y los estándares mencionados sugiere que las áreas estudiadas presentan características particulares, principalmente un elevado contenido de materia orgánica. Esta interpretación es consistente con la explicación proporcionada por Thompson (2002), citado por Vega *et al.* (2017), quien indica que una densidad real inferior a 2,65 g/cm³ es indicativa de un suelo con alto contenido orgánico. En contraste, valores superiores a 2,65 g/cm³ suelen asociarse con un incremento en la presencia de óxidos de hierro o minerales ferromagnéticos, situación que no parece aplicarse en las áreas evaluadas.

En consecuencia, el presente análisis confirma que la baja densidad real registrada en las áreas I y II está vinculada a la composición orgánica del suelo, afectando sus propiedades físicas y potenciales aplicaciones agrícolas.

4.2.3. Densidad aparente

Los resultados obtenidos en las áreas I y II revelan un aumento significativo en la densidad aparente del suelo, pasando de valores moderados (1,35-1,50 g/cm³) en 2008 a niveles que indican compactación elevada (1,54-1,61 g/cm³) en 2021. Según la USDA (2017), densidades superiores a 1,54 g/cm³ en suelos con textura arcillo arenosa o franco arcillo arenosa se consideran indicativas de una condición densa, lo que confirma el

deterioro estructural observado en ambos sitios.

Esta tendencia se explica por factores naturales y antrópicos. Gonzales *et al.* (2009) destacan que los ciclos alternantes de humedad y sequedad, junto con el uso intensivo de maquinaria agrícola, incrementan la densidad aparente al promover la compactación del suelo y la presión mecánica, respectivamente. Es probable que estos factores se hayan intensificado durante el periodo estudiado, acelerando la compactación.

El impacto de esta compactación en el suelo es crítico para el desarrollo vegetal, ya que, como señala Paco (2011), la densidad elevada reduce la aireación y limita la penetración radicular, afectando negativamente la productividad agrícola. Complementariamente, Rojas (2013) enfatiza que, aunque la densidad aparente puede variar según la textura, el contenido de materia orgánica y las condiciones estacionales, la tendencia persistente al aumento en todas las profundidades indica que la compactación es un problema estructural sostenido.

Los datos demuestran un deterioro significativo de la estructura del suelo en las áreas estudiadas, asociado a factores naturales y, principalmente, al uso agrícola y tráfico de maquinaria pesada. Este proceso de compactación representa un riesgo para la productividad del suelo, sugiriendo la necesidad de revisar y adaptar las prácticas de manejo agrícola para mitigar sus efectos y preservar la calidad del suelo a largo plazo.

4.2.4. Porosidad

El estudio revela una reducción significativa de la porosidad del suelo en las áreas evaluadas entre 2008 y 2021. En el área I, la porosidad disminuyó de 47 a 48 % a 35 a 39 %, y en el área II, de 49 a 43 % a 39 a 36 %, siendo estas diferencias estadísticamente significativas.

Según Aldana (2008), valores inferiores al 40 % indican porosidad muy baja y entre 40 % a 45 % porosidad baja, por lo que el suelo en 2021 presenta una porosidad baja a muy baja, contrastando con la porosidad media de 2008. García (2010) relaciona porosidades entre 47 % a 54 % con suelos franco arcillosos, y valores por debajo de 42 % con suelos arenosos, sugiriendo una tendencia hacia suelos más compactados o arenosos. Romero (2015) vincula la reducción de porosidad con un aumento en la densidad aparente, indicador de compactación. Barreira (1978), citado por Aldana (2008), destaca que porosidades cercanas al 50 % son óptimas para la vida vegetal, y que el uso intensivo de maquinaria y prácticas agrícolas inadecuadas afectan negativamente la porosidad y la retención hídrica.

Los resultados confirman un proceso de compactación y degradación del suelo entre 2008 y 2021, coherente con la relación inversa entre porosidad y densidad aparente descrita por Romero (2015). La caída a niveles bajos o muy bajos de porosidad (Aldana, 2008) indica alteraciones estructurales probablemente causadas por actividades humanas, coincidiendo con las advertencias de Barreira (1978) citado por Aldana (2008), sobre el

impacto de la maquinaria pesada y el manejo del suelo.

Además, la disminución de porosidad sugiere pérdida de estructura y capacidad de retención de aire y agua, fundamentales para el desarrollo radicular (García, 2010). Estas condiciones deterioran la calidad del suelo, afectando la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental.

4.2.5. Contenido de materia orgánica

Los resultados obtenidos evidencian un aumento significativo en el contenido de materia orgánica del suelo entre los años 2008 y 2021, lo cual fue corroborado mediante la prueba *t* de Student en ambas áreas y en todas las profundidades analizadas. Este incremento puede atribuirse a la implementación de prácticas de manejo del suelo, como la reducción de labranzas y el laboreo mínimo, tal como lo señala Ingaramo (2003), quien destaca el efecto positivo de estas estrategias en la conservación y acumulación de materia orgánica en los horizontes superficiales.

Asimismo, la distribución vertical de la materia orgánica, con una mayor concentración en los primeros centímetros del suelo y una disminución progresiva hacia capas más profundas, concuerda con lo reportado en la literatura. Diversos autores coinciden en que la acumulación de materia orgánica en la superficie se debe principalmente a la descomposición de residuos vegetales y a la menor actividad biológica en profundidades mayores (Hudson, 2007).

Por otro lado, las variaciones en la clasificación del contenido de materia orgánica según el clima, presentadas por Labrador (1996) y citadas por Sanclemente (2011), permiten contextualizar los resultados obtenidos. En regiones de clima templado, el contenido de materia orgánica suele ser naturalmente más elevado debido a condiciones de temperatura y humedad que favorecen su acumulación y preservación, mientras que, en zonas cálidas, estas condiciones son menos propicias, lo que se traduce en menores niveles de M.O. En este sentido, el aumento observado en ambas áreas podría estar relacionado no solo con las prácticas agronómicas aplicadas, sino también con factores climáticos y ambientales locales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldana, M. (2008). *Identificación y evaluación de procesos de degradación del suelo empleando métodos de caracterización física y química* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Tarija, Bolivia.

Alemán, R. (2016). *Cuantificación de las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica en tres condiciones de pendientes con y sin cobertura vegetal* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Tarija, Bolivia.

Camacho, J., Foreno, N., Ramírez, L., & Rubiano, Y. (2016). Evaluación de la textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de 66

Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5–18.

EOS. (2021). *Temperatura del suelo para la siembra y el cultivo*. Recuperado de <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>

FAO. (2015). *Portal de suelos de la FAO. Levantamiento de suelos. Propiedades del suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-desuelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

García. (2010). Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. En H. Cotler (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología.

González, C., Iglesias, C., Ciro, E., & Herrera, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57–63. Universidad Agraria de La Habana. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937011>

Hudson. (2007). *Conservación de suelos*. Barcelona, España.

Ibáñez, J. (2008). *Biología y ecología del suelo, componentes, estructuras y procesos en los suelos, suelos y cambio climático*. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>

Ingaramo, O. (2003). *Indicadores físicos de la degradación del suelo* [Tesis Doctoral de grado, Universidad de La Coruña]. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de Navegación y de Tierra, Área de Edafología.

INIAF. (2015). *Dirección Nacional de Asistencia Técnica: Manejo, conservación de suelos y técnicas de cosecha de agua de lluvia para usos múltiples*.

INTA. (2018). *Suelos: la falta de humedad afecta la absorción de nutrientes*. Recuperado de <https://intainforma.inta.gob.ar/suelos-la-falta-de-humedad-afecta-la-absorcion-de-nutrientes/>

Intagri. (2017). *Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas* (Serie Suelos No. 29). Artículos Técnicos de INTAGRI. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

Navarro, S. (2019). *Efecto del uso del suelo en las propiedades de textura y pH de la parcela 112 del km 47 de la carretera Iquitos – Nauta* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Facultad de Ciencias Forestales.

Paco, J. (2011). *Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo cuatro niveles de humus de lombriz* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. La Paz, Bolivia.

Rojas, J. (2013). *Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa*. INTA. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/>

[default/files/script-tmp-inta-densidad_aparente.pdf](default/files/script-tmp-inta-densidad_aparente.pdf)

Romero, A. (2015). *Caracterización física y química de los suelos* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Tarija, Bolivia.

Sanclemente, O. (2011). *Abonos verdes y acolchados orgánicos – Materia orgánica del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

USDA. (2017). *Producción sostenible e innovaciones en el manejo de plagas para la próxima generación de cultivos especiales jóvenes e hispanos/latinos cultivadores*. Recuperado de <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>

Vega, J., Vigil, C., Bustamante, R., & Pineda, I. (2017). *Determinación de la densidad real*. Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Panamá. Recuperado de https://issuu.com/edafologia27/docs/densidad_real_de_suelo

Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5–18.

EOS. (2021). *Temperatura del suelo para la siembra y el cultivo*. Recuperado de <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>

FAO. (2015). *Portal de suelos de la FAO. Levantamiento de suelos. Propiedades del suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-desuelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

García. (2010). Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. En H. Cotler (Coord.), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología.

González, C., Iglesias, C., Ciro, E., & Herrera, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57–63. Universidad Agraria de La Habana. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937011>

Hudson. (2007). *Conservación de suelos*. Barcelona, España.

Ibáñez, J. (2008). *Biología y ecología del suelo, componentes, estructuras y procesos en los suelos, suelos y cambio climático*. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>

Ingaramo, O. (2003). *Indicadores físicos de la degradación del suelo* [Tesis Doctoral de grado, Universidad de La Coruña]. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de Navegación y de Tierra, Área de Edafología.

INIAF. (2015). *Dirección Nacional de Asistencia Técnica: Manejo, conservación de suelos y técnicas de cosecha de agua de lluvia para usos múltiples*.

INTA. (2018). *Suelos: la falta de humedad afecta la absorción de nutrientes*. Recuperado de <https://intainforma.inta.gob.ar/suelos-la-falta-de-humedad-afecta-la-absorcion-de-nutrientes/>

Intagri. (2017). *Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas* (Serie Suelos No. 29). Artículos Técnicos de INTAGRI. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

Navarro, S. (2019). *Efecto del uso del suelo en las propiedades de textura y pH de la parcela 112 del km 47 de la carretera Iquitos – Nauta* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Facultad de Ciencias Forestales.

Paco, J. (2011). *Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo cuatro niveles de humus de lombriz* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. La Paz, Bolivia.

Rojas, J. (2013). *Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa*. INTA. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/>

[default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf](default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf)

Romero, A. (2015). *Caracterización física y química de los suelos* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Tarija, Bolivia.

Sanclemente, O. (2011). *Abonos verdes y acolchados orgánicos – Materia orgánica del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

USDA. (2017). *Producción sostenible e innovaciones en el manejo de plagas para la próxima generación de cultivos especiales jóvenes e hispanos/latinos cultivadores*. Recuperado de <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>

Vega, J., Vigil, C., Bustamante, R., & Pineda, I. (2017). *Determinación de la densidad real*. Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Panamá. Recuperado de https://issuu.com/edafologia27/docs/densidad_real_de_suelo

✓ **NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA “IYARAKUAA-DUEÑO DEL CONOCIMIENTO”ÁREA DE APLICACIÓN EN DESARROLLO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN**

MISIÓN Y POLÍTICA EDITORIAL

La revista Iyarakuaa –Dueño del conocimiento, N°14, edición especial: Sistemas de Información Geográfica, es una publicación de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho cuyo objetivo es difundir el conocimiento generado por la comunidad universitaria, académica y científica, tanto a nivel local, nacional e internacional. Esta revista recoge investigaciones en diversas áreas del conocimiento en ingeniería de recursos naturales y tecnología de la provincia Gran Chaco. El volumen 5, número 14 de esta edición especial sobre innovación informática es una publicación arbitrada que se rige por principios de ética y pluralidad. Los trabajos presentados pasan por un sistema de revisión por pares, en el cual al menos dos expertos académicos nacionales y/o internacionales evalúan los artículos de acuerdo con las normas de publicación establecidas antes de su aprobación.

TIPO DE ARTÍCULOS Y PUBLICACIÓN

La Revista “Iyarakuaa -Dueño del conocimiento -N° 14 especial: Sistemas de Información Geográfico” realiza la publicación de distintos artículos de acuerdo a las siguientes características:

- Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de investigaciones concluidas. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartados importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- Artículo de reflexión: documento que presenta resultados de investigaciones terminadas desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- Artículo de revisión: documento resultado de investigaciones terminadas donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 20 referencias.

- Revisión de temas académicos: documento que muestra los resultados de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular, o también versa sobre la parte académica de la actividad docente. Son comunicaciones concretas sobre el asunto a tratar por lo cual su extensión mínima es de 5 páginas.
- Cartas al editor: posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité Editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia

NORMAS DE ENVÍO Y PRESENTACIÓN

- a. La revista Iyarakuaa –Dueño del conocimiento -N° 14 especial Sistemas de Información Geográfica recibe trabajos originales en idioma español. Los manuscritos deben enviarse en formato electrónico, en un archivo compatible con Microsoft Word para Windows, y también en formato impreso.
- b. Los textos deben redactarse en hoja tamaño carta (21,59 cm de ancho por 27,94 cm de alto). La fuente debe ser Arial de 10 puntos, con interlineado simple. Los márgenes deben ser de 2,5 cm para los bordes superior, inferior y derecho, y de 3 cm para el borde izquierdo.
- c. Los artículos deben presentar un alto nivel de corrección sintáctica, con precisión y claridad en la exposición de ideas.
- d. En cuanto a la extensión, los artículos de investigación científica y tecnológica no deben exceder las 15 páginas, incluyendo la bibliografía. Los artículos de reflexión y revisión pueden tener hasta 10 páginas, mientras que los artículos académicos deben tener un mínimo de 5 páginas.
- e. Los trabajos de investigación (artículos originales) deben incluir un resumen de hasta 250 palabras en español y en inglés.
- f. En la sección de autores, deben figurar todas las personas que han contribuido significativamente a la investigación, reconociéndose al primer autor como el principal. Se deben identificar claramente los nombres y apellidos, la institución de

afiliación (nombre completo, organismo, ciudad y país), dirección de contacto, correo electrónico y código ORCID.

- g. La revista Iyarakuaa –Dueño del conocimiento -N° 14 especial Sistemas de Información Geográfica solo acepta trabajos originales e inéditos, es decir, que no hayan sido publicados previamente en ningún formato ni que estén siendo evaluados simultáneamente en otras publicaciones, nacionales o internacionales. Por lo tanto, los artículos deberán acompañarse de una carta de originalidad, firmada por todos los autores, en la cual se certifique lo anterior.
- h. Cada artículo pasará por una revisión exhaustiva para evitar plagio. En caso de detectarse plagio en un manuscrito, el autor implicado estará sujeto a un proceso administrativo interno y no podrá volver a presentar artículos para publicación en esta revista.
- i. Los artículos deben enviarse a través del correo electrónico: ocho@uajms.edu.bo.

FORMATO DE PRESENTACIÓN

Para la presentación de los trabajos se debe tomar en cuenta el siguiente formato para los artículos científicos:

a) Título del artículo

El título del proyecto debe ser claro, preciso y sintético, con un texto de 20 palabras como máximo.

b) Autores

Un aspecto crucial en la preparación de un artículo científico es decidir qué nombres deben incluirse como autores y en qué orden. Generalmente, se establece que el primer nombre corresponde al autor principal, quien asume la responsabilidad intelectual del trabajo. Por esta razón, los artículos destinados a la publicación en la revista deben adoptar el siguiente formato para mencionar a los autores:

En primer lugar, debe figurar el nombre del autor principal, seguido de los investigadores e investigadores junior, y posteriormente los asesores y colaboradores, si los hubiera. Los nombres deben indicarse de la siguiente manera: primero los apellidos y luego los nombres; después, se incluirá la dirección del centro o instituto, y la carrera a la que pertenece el autor principal. En el caso de que haya más de seis autores, se debe incluir únicamente el autor principal, seguido de la expresión latina "et al." (que significa "y otros"), y finalmente indicar la dirección de correo electrónico.

c) Resumen y palabras clave

El resumen debe dar una idea clara y precisa de la totalidad del trabajo, incluirá los resultados más destacados y las principales conclusiones, asimismo,

debe ser lo más informativo posible, de manera que permita al lector identificar el contenido básico del artículo y la relevancia, pertinencia y calidad del trabajo realizado. Se recomienda elaborar el resumen con un máximo de 250 palabras, el mismo que debe expresar de manera clara los objetivos y el alcance del estudio, justificación, metodología y los principales resultados obtenidos.

Hay que recordar que el resumen sintetiza economizando en espacio y tiempo, de tal manera que prescinde de las reiteraciones y de las explicaciones que amplían el tema. Pero debe poseer, todos los elementos presentes en el trabajo para impactar a los lectores y público en general.

En el caso de los artículos originales, tanto el título, el resumen y las palabras clave deben también presentarse en idioma inglés.

d) Introducción

La introducción del artículo está destinada a expresar con toda claridad el propósito de la comunicación, además resume el fundamento lógico del estudio. Se debe mencionar las referencias estrictamente pertinentes, sin hacer una revisión extensa del tema investigado. No hay que incluir datos ni conclusiones del trabajo que se está dando a conocer.

e) Materiales y métodos

Debe mostrar, en forma organizada y precisa, cómo fueron alcanzados cada uno de los objetivos propuestos.

La metodología debe reflejar la estructuralógica y el rigor científico que ha seguido el proceso de investigación desde la elección de un enfoque metodológico específico (preguntas con hipótesis fundamentadas correspondientes, diseños muestrales o experimentales, etc.), hasta la forma como se analizaron, interpretaron y se presentan los resultados. Deben detallarse, los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas utilizadas para la investigación. Deberá indicarse el proceso que se siguió en la recolección de la información, así como en la organización, sistematización y análisis de los datos. Una metodología vaga o imprecisa no brinda elementos necesarios para corroborar la pertinencia y el impacto de los resultados obtenidos.

f) Resultados

Los resultados son la expresión precisa y concreta de lo que se ha obtenido efectivamente al finalizar el proyecto, y son coherentes con la metodología empleada. Debe mostrarse claramente los resultados alcanzados, pudiendo emplear para ello cuadros, figuras, etc.

Los resultados relatan, no interpretan, las observaciones efectuadas con el material y métodos empleados.

No deben repetirse en el texto datos expuestos en tablas o gráficos, resumir o recalcar sólo las observaciones más importantes.

g) Discusión

El autor intentará ofrecer sus propias opiniones sobre el tema, se insistirá en los aspectos novedosos e importantes del estudio y en las conclusiones que pueden extraerse del mismo. No se repetirán aspectos incluidos en las secciones de introducción o de resultados. En esta sección se abordarán las repercusiones de los resultados y sus limitaciones, además de las consecuencias para la investigación en el futuro. Se compararán las observaciones con otros estudios pertinentes. Se relacionarán las conclusiones con los objetivos del estudio, evitando afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones avaladas insuficientemente por los datos.

h) Bibliografía

La bibliografía utilizada, es aquella a la que se hace referencia en el texto, debe ordenarse en orden alfabético y de acuerdo a las normas establecidas para las referencias bibliográficas (Punto 5).

i) Tablas y figuras

Todas las tablas o figuras deben ser referidas en el texto y numeradas consecutivamente con números arábigos, por ejemplo: Figura 1, Figura 2, Tabla 1 y Tabla 2. No se debe utilizar la abreviatura (Tab. o Fig.) para las palabras tabla o figura y no las cite entre paréntesis. De ser posible, ubíquelas en el orden mencionado en el texto, lo más cercano posible a la referencia en el mismo y asegúrese que no repitan los datos que se proporcionen en algún otro lugar del artículo.

El texto y los símbolos deben ser claros, legibles y de dimensiones razonables de acuerdo al tamaño de la tabla o figura. En caso de emplearse en el artículo fotografías y figuras de escala gris, estas deben ser preparadas con una resolución de 250 dpi. Las figuras a color deben ser diseñadas con una resolución de 450 dpi. Cuando se utilicen símbolos, flechas, números o letras para identificar partes de la figura, se debe identificar y explicar claramente el significado de todos ellos en la leyenda.

j) Referencias bibliográficas

Las referencias bibliográficas que se utilicen en la redacción del trabajo aparecerán al final del documento y se incluirán por orden alfabético. Debiendo adoptar las modalidades que se indican a continuación:

Referencia de Libro

Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro en cursiva, las palabras más relevantes y las letras iniciales deben ir en mayúscula. Editorial y lugar de edición.

Tamayo y Tamayo, M. (1999). *El Proceso de la Investigación Científica, incluye Glosario y Manual de Evaluación de Proyecto*. Editorial Limusa. México.

Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). *Metodología de la Investigación Cualitativa*. Ediciones Aljibe. España.

Referencia de Capítulos, Partes y Secciones de Libro Apellidos, luego las iniciales del autor en letra mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del capítulo de libro en cursiva que, para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Colocar la palabra, en, luego el nombre del editor (es), título del libro, páginas. Editorial y lugar de edición.

Reyes, C. (2009). *Aspectos Epidemiológicos del Delirium*. En M. Felipe. y O. José (eds.). *Delirium: Un gigante de la geriatría* (pp. 37-42). Manizales: Universidad de Caldas.

Referencia de Revista

Autor (es), año de publicación (entre paréntesis), título del artículo, en: Nombre de la revista, número, volumen, páginas, fecha y editorial. López, J.H. (2002). *Autoformación de Docentes a Tiempo Completo en Ejercicio en Ventana Científica*, N° 2. Volumen 1. pp 26 –35. Abril de 2002, Editorial Universitaria.

Referencia de Tesis

Autor (es). Año de publicación (entre paréntesis). Título de la tesis en cursiva y en mayúsculas las palabras más relevantes. Mención de la tesis (indicar el grado al que opta entre paréntesis). Nombre de la Universidad, Facultad o Instituto. Lugar.

Salinas, C. (2003). *Revalorización Técnica Parcial de Activos Fijos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*. Tesis (Licenciado en Auditoría). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras. Tarija –Bolivia.

Página Web (World Wide Web)

Autor (es) de la página. (Fecha de publicación o revisión de la página, si está disponible). Título de la página o lugar (en cursiva). Fecha de consulta (Fecha de acceso), de (URL –dirección). Puente, W. (2001, marzo 3). *Técnicas de Investigación*. Fecha de consulta, 15 de febrero de 2005, de <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.html>.

Libros Electrónicos

Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Fecha de publicación. Título (palabras más relevantes en cursiva). Tipo de medio [entre corchetes]. Edición. Nombre la institución patrocinante (si lo hubiera), Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso.

Ortiz, V. (2001). *La Evaluación de la Investigación como Función Sustantiva*. [Libro en línea]. Serie Investigaciones (ANUIES). Fecha de consulta: 23

febrero 2005. Disponible en: <http://www.anuies.mx/index800.html>

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. (1998). *Manual Práctico sobre la vinculación Universidad –Empresa*. [Libro en línea]. ANUIES 1998. Agencia Española de Cooperación (AECI). Fecha de consulta: 23 febrero 2005. Disponible en: <http://www.anuies.mx/index800.html>

Revistas Electrónicas

Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Título del artículo en cursiva. Nombre la revista. Tipo de medio [entre corchetes]. Volumen. Número. Edición. Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso.

Montobbio, M. *La cultura y los Nuevos Espacios Multilaterales*. Pensar Iberoamericano. [En línea]. N° 7. Septiembre –diciembre 2004. Fecha de consulta: 12 enero 2005. Disponible en: <http://www.campusoei.org/pensariberoamerica/index.html>.

Referencias de citas bibliográficas en el Texto

Para todas las citas bibliográficas que se utilicen y que aparezcan en el texto se podrán asumir las siguientes formas:

- a. De acuerdo a Martínez, C. (2004), la capacitación de docentes en investigación es fundamental para...
- b. En los cursos de capacitación realizados se pudo constatar que existe una actitud positiva de los docentes hacia la investigación... (Martínez, C. 2004).
- c. En el año 2004, Martínez, C. Realizó el curso de capacitación en investigación para docentes universitarios...

k) Derechos de autor

Los conceptos y opiniones expresados en los artículos publicados son de exclusiva responsabilidad de los autores, responsabilidad que se asume al momento de la publicación del artículo enviado. La concesión de derechos de autor implica la autorización para que la revista Iyarakuaa –Dueño del conocimiento –N° 14 especial: Sistemas de Información Geográfica pueda utilizar el artículo, o partes de él, con fines de divulgación y promoción de la actividad científica y tecnológica. Estos derechos en ningún caso afectan la propiedad intelectual, que sigue siendo de los autores

