



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACION

TEMA:

**EFFECTO DEL HIDROGEL EN EL CRECIMIENTO Y
SUPERVIVENCIA DE DIFERENTES MATERIALES DE PLÁTANO
EN SECANO**

AUTORES:

**CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCÍVAR
EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA**

TUTOR:

ING. GALO ALEXANDER CEDEÑO GARCÍA

CALCETA, FEBRERO DE 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR**, con cédula de ciudadanía 080377702-8, y **EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA**, con cédula de ciudadanía 131477226-8, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DEL HIDROGEL EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE DIFERENTES MATERIALES DE PLÁTANO EN SECANO** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR
080377702-8



EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA
131477226-8

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR**, con cédula de ciudadanía 080377702-8, y **EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA**, con cédula de ciudadanía 131477226-8, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DEL HIDROGEL EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE DIFERENTES MATERIALES DE PLÁTANO EN SECANO**, cuyo contenido, idea y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR

080377702-8



EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA

131477226-8

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. **GALO ALEXANDER CEDEÑO GARCIA**, certifico haber tutelado el proyecto **EFFECTO DEL HIDROGEL EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE DIFERENTES MATERIALES DE PLÁTANO EN SECANO**, que ha sido propuesto, desarrollado y defendido por **CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR** y **EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA** previo a la obtención del título de ingeniero agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. GALO CEDEÑO GARCIA, M. Sc.

CC: 131195683-1

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EFFECTO DEL HIDROGEL EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE DIFERENTES MATERIALES DE PLÁTANO EN SECANO**, que ha sido propuesto, desarrollado y defendido por **CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR y EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA**, previa la obtención del título de ingeniero agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**ING. LENIN VERA MONTENEGRO. PhD.
PRESIDENTE**

**ING. LIZARDO REYNA BOWEN. PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**ING. FROWEN CEDEÑO SACÓN. M.Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos la fortaleza de espíritu para superar cada uno de los obstáculos suscitados durante nuestra formación académica y permitirnos culminarla con éxito.

De bien nacidos es ser agradecidos. Son muchas las personas a las que tenemos que agradecer su trabajo, colaboración y dedicación, sin las cuales no hubiera sido posible la elaboración y culminación de esta investigación.

A nuestros padres que son los pilares fundamentales en nuestra vida, que siempre estuvieron apoyándonos con su esfuerzo y amor durante nuestra formación tanto personal como profesional.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestros más sinceros agradecimientos al Ing. Galo Cedeño García, con cuyo trabajo estaremos siempre en deuda. Gracias por su amabilidad para facilitarnos, su tiempo y sus ideas.

CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR

EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA

DEDICATORIA

Quiero dedicar el desarrollo de este gran proyecto, primeramente, a Dios por ser el guía en mi camino de esmero, alegrías, tristezas.

A mis padres Carlos Intriago Mera y Mercedes Alcívar Sabando por todo el sacrificio que se han hecho para lograr cumplir esta meta importante en la vida, gracias por cada uno de su consejo que ayudaron para poder lograr esta etapa.

A mis abuelos, más que mis abuelos las personas después de mis padres que más se preocupan por mí. Sus canas son sinónimos de sabiduría. Me enseñaron muchas cosas vitales para la vida, y me encaminaron por el buen sendero.

También a cada uno de mis amigos, compañeros y docentes que fueron apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera, a la Ing. Geoconda López por siempre tener tiempo para ayudarme guiarme y enseñarme hacer mejor las cosas, por su apoyo incondicional y por sus sabios consejos para hoy ser una persona responsable en mi vida profesional.

También a cada uno de mis amigos, compañeros y docentes que fueron apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera.

CARLOS NIJEL INTRIAGO ALCIVAR

DEDICATORIA

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mis padres Fanny Estrella Mendoza Vera y Edisson Daniel Torres Bravo, por todo el apoyo brindando en cada momento de mi vida, por su amor incondicional, por su motivación, por sus consejos para hoy ser una persona realizada tanto en mi vida personal, como profesional.

A mis hermanos Alan, Mauricio, a mi esposa Ariana Zambrano y a mi hermoso hijo quienes con sabiduría me guiaron por el buen camino y me dieron todo su apoyo y motivación en momentos difíciles y me han impulsado a tener una razón para seguir adelante.

A la memoria de mis abuelos, porque desde el lugar donde se encuentre me dan fortaleza y me siguen dando su apoyo en cada logro de mi vida está llenándome de bendiciones.

También a cada uno de mis amigos, compañeros y docentes que fueron apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera.

EDISSON DANIEL TORRES MENDOZA

CONTENIDO GENERAL

CARATULA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL PLÁTANO A NIVEL GLOBAL, REGIONAL Y LOCAL.....	4
2.2. ¿QUÉ ES EL HIDROGEL?.....	4

2.3. ESTRÉS HÍDRICO	5
2.4. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL PLÁTANO BAJO ESTRÉS HÍDRICO	5
2.5. USO DE HIDROGELES EN LA AGRICULTURA	5
2.6. EXPERIENCIAS DEL USO DE HIDROGELES	7
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	8
3.1. LOCALIZACIÓN	8
3.2. DURACIÓN	8
3.3. MATERIAL VEGETAL	8
3.4. FACTORES Y TRATAMIENTOS	8
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	8
3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL	8
3.7. ESQUEMA DEL ANOVA	9
3.8. VARIABLES RESPUESTA	9
3.9. ANÁLISIS DE DATOS	11
3.10. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	11
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
4.1. CONCLUSIONES	25
4.2. RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	32

CONTENIDO TABLAS

TABLA 3. 1 Esquema de ANOVA	9
-----------------------------------	---

CONTENIDO FIGURAS

Figura 4. 1 Tensión hídrica del suelo a los 0,20 m de profundidad en función del tipo de planta, riego y dosis hidrogel,	13
Figura 4. 2 Tensión hídrica del suelo a los 0,40 m de profundidad en función del tipo de planta, riego y dosis hidrogel.	13
Figura 4. 3 Rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR), en función de dosis de hidrogel (A) y materiales de siembra (B).	15
Figura 4. 4 Contenido hídrico relativo de la hoja (CHR) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.	16
Figura 4. 5 Contenido hídrico relativo de la hoja (CHR) en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.	17
Figura 4. 6 Área foliar específica (AFE) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.	18
Figura 4. 7 Área foliar específica en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.	18

Figura 4. 8 Contenido de clorofila (unidades SPAD) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.....	19
Figura 4. 9 Contenido de clorofila (unidades SPAD) en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.	20
Figura 4. 10 Distribución de la materia seca en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.	21
Figura 4. 11 Distribución de la materia seca en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.....	21
Figura 4. 12 Acumulación de materia seca en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.	22
Figura 4. 13 Acumulación de materia seca en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.....	23

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del hidrogel en el crecimiento y supervivencia de diferentes materiales de plátano en secano. Se evaluaron tratamientos factoriales de cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹) y dos materiales de siembra (cormos y plántulas de vivero), con dos tratamientos control con cormos y plántulas con riego. Se registró la tensión hídrica del suelo, la actividad fotoquímica del fotosistema II (PSII) como rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m), tasa de transporte electrónico (ETR), contenido relativo de agua en la hoja (CHR), área foliar específica (AFE), contenido de clorofila (unidades SPAD) y acumulación de materia seca en el tiempo. Con el uso de hidrogel, la humedad del suelo se mantuvo en rangos de capacidad de campo hasta 60 días para plantas de cormos y hasta 30 días para plantas de vivero. La actividad fisiológica (Φ_{PSII} , F_v/F_m , ETR, CHR, AFE, clorofila SPAD) se mantuvo en niveles adecuados para garantizar una buena actividad fotosintética, sobrevivencia y crecimiento activo de las plantas en secano, como para no provocar fotoinhibición o daño fisiológico. Con riego la actividad fisiológica y crecimiento de las plantas fue mayor. El crecimiento y sobrevivencia del plátano fue potenciado por el hidrogel, y por tanto se puede recomendar la siembra anticipada a la época lluviosa en sistemas de secano.

Palabras claves: Musa AAB, Hidrogel, Tipo de semilla, Actividad fisiológica, Crecimiento, Sobrevivencia.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of the hydrogel on the growth and survival of different dry plantain materials. Factorial treatments of four levels of hydrogel (25, 50, 75 and 100 g plant⁻¹) and two planting materials (corms and nursery seedlings) were evaluated, with two control treatments with corms and seedlings with irrigation. Soil water tension, photochemical activity of photosystem II (PSII) as effective quantum yield (Φ_{PSII}), maximum quantum efficiency (F_v/F_m), electron transport rate (ETR), relative water content in the leaf (RWC), specific leaf area (SLA), chlorophyll content (SPAD units) and dry matter accumulation over time. With the use of hydrogel, soil moisture was maintained in field capacity ranges for up to 60 days for corm plants and up to 30 days for nursery plants. Physiological activity (Φ_{PSII} , F_v/F_m , ETR, RWC, SLA, SPAD chlorophyll) was maintained at adequate levels to guarantee good photosynthetic activity, survival and active growth of dryland plants, so as not to cause photoinhibition or physiological damage. With irrigation the physiological activity and growth of the plants was greater. The growth and survival of the banana was enhanced by the hydrogel, and therefore planting early in the rainy season in dryland systems can be recommended.

Keywords: Musa AAB, Hydrogel, Seed type, Physiological activity, Growth, Survival.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La sequía es un estrés abiótico importante que afecta a la producción de banano y plátano en todo el mundo y provoca pérdidas de rendimiento de hasta un 65%. En este sentido, una de las principales limitaciones para la productividad es la sequía. El déficit de agua afecta gravemente el crecimiento y el rendimiento de las plantas, ya que reduce significativamente la capacidad fotosintética por el cierre prematuro de las estomas, se retrasa la emisión foliar, la translocación de asimilados a racimos y el llenado de frutos (Ravi et al., 2013; Nansamba et al., 2020).

El plátano en Ecuador se cultiva principalmente en la provincia de Manabí donde la principal problemática es la baja productividad, que se relaciona principalmente con una larga temporada seca (mayo-diciembre), donde apenas se dispone del 17% de las precipitaciones anuales, dado que el 83% de las lluvias se concentran en un periodo corto de tiempo (enero-abril), lo que conlleva a una disminución progresiva del contenido de humedad del suelo que comienza en Mayo (Pérez et al., 2018; Zambrano et al., 2018; INEC, 2020).

El largo período de sequía limita seriamente la productividad del cultivo, más aún bajo condiciones locales donde la infraestructura de riego es limitada (INEC, 2020). En este sentido, se han reportado pérdidas de rendimiento inducidas por estrés hídrico de hasta un 65% debido a la pérdida de peso del racimo, incluso en áreas de lluvia moderada (Panigrahi et al., 2021).

Otra limitante en la producción de plátano en seco, es la carencia en planificación de las siembras según el comportamiento de las precipitaciones, el tipo de material de siembra existente y uso de nuevas tecnologías de retención de humedad como los hidrogeles, tal como se aplican en otros cultivos de temporal o seco (Bannayan et al., 2013; Montiel et al., 2019; Giweta y Garedew, 2020; Ashraf et al., 2021).

En este contexto, no se conoce que tipo de material de siembra sería el más adecuado para establecer nuevas plantaciones de plátano en seco, dado que

los estudios previos no son concluyentes. Sin embargo, varios autores han señalado que el uso de plántulas homogéneas como las provenientes de cultivo de tejido, poseen mayor potencial de enraizamiento, adaptación y potencial productivo (Eckstein y Robinson, 1995; Buah et al., 2000). No obstante, otros estudios señalan que tanto las plántulas in vitro y las provenientes de rizomas presentan igual potencial productivo en campo, aunque las provenientes de rizomas presentan mayor precocidad. Lo anterior puede ser debido a que plantas originadas de hijuelos presentan mayores reservas nutritivas que potencian su crecimiento inicial (Vargas, 2015; Galán et al., 2018).

Por otra parte, el uso de hidrogel y diferentes técnicas para retener la humedad y nutrientes del suelo, existe poca información de su uso en el cultivo de plátano de secano. A pesar de ello, en experiencias previas desarrolladas en banano cultivado en suelos arenosos de Egipto, determinaron que el uso de hidrogeles puede ahorrar entre un 12 – 20% de agua bajo condiciones de regadío (Barakat et al., 2015; Kassim et al., 2017).

En este punto, debido a las escasas investigaciones en cuanto al tipo de material de siembra y dosis de hidrogeles adecuadas para plátano de secano, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Pueden el uso de dosis adecuadas de hidrogel potenciar el crecimiento y supervivencia en el material de siembra de plántulas de plátano en secano?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Mejorar la productividad es esencial para satisfacer la creciente demanda de alimentos en las comunidades donde se desarrolla la agricultura de secano, y en este contexto el plátano de ladera y secano. Productores de plátano en sistemas de secano de Manabí y gran parte del mundo, que ganan escasos recursos económicos al día, no tienen acceso al conocimiento sobre las mejores prácticas agrícolas climáticamente inteligentes, aunque tienen un considerable conocimiento tradicional. Estos agricultores también carecen de acceso a herramientas y tecnologías agrícolas asequibles e insumos necesarios para aumentar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el potencial de la agricultura de secano puede mejorarse mediante la adopción de técnicas

adecuadas de retención de humedad; empleando métodos científicos de conservación de suelo y agua, utilizando prácticas agrícolas sostenibles. A pesar de la urgente necesidad de transformar los sistemas de producción agrícola de secano altamente degradados, la adopción de enfoques de manejo más sostenibles ha sido limitada, probablemente debido a la escasez de ensayos de campo científicos locales para evaluar las prácticas actuales y alternativas de manejo agronómico de cultivos de secano. Por tales razones, la propuesta de investigación se centra en resaltar los desafíos agronómicos de la agricultura de secano y ofrecer soluciones innovadoras y de bajo costo para intensificar la producción mientras se mejoran los medios de vida locales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del hidrogel en el crecimiento y supervivencia de diferentes materiales de plátano en secano.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar el efecto de cuatro dosis de hidrogel en el crecimiento y supervivencia de dos materiales de siembra de plátano en secano.

- ❖ Establecer el material de siembra de plátano más adecuado para la siembra de plátano en secano

1.4 HIPÓTESIS

El hidrogel potencia el crecimiento y supervivencia de plántulas de plátano en secano, independientemente del tipo de material de siembra.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL PLÁTANO A NIVEL GLOBAL, REGIONAL Y LOCAL

El mercado mundial del plátano se ha mostrado muy atractivo debido a propensiones como el incremento del consumo de latinos, caribeños y africanos que han emigrado a EE. UU. y Europa por el incremento de flujos comerciales en el marco de tratados de libre comercio (Baquero, 2017).

El plátano y sus diferentes variedades ha figurado un 32% del comercio a nivel mundial. El círculo en donde existe mayor producción de plátano en Ecuador, es Manabí, Santo Domingo y Los Ríos. Por lo cual el plátano tiene un gran grado de importancia para la economía del mismo, así como para el consumo del productor, como de los moradores aledaños (Álvarez *et al*, 2020). Por lo que en las provincias de la costa la superficie plantada es de 82,05% y la producción llega al 95,22%, la cuales por lo general son destinadas principalmente para la exportación (Paz & Pesantez, 2013).

En Manabí las zonas en donde hay mayor producción de plátano tenemos la zona central: Tosagua, Rocafuerte, Junín, Bolívar, Pichincha, Portoviejo, Manta, Santa Ana, 24 de mayo, Olmedo, Montecristi y Jaramijó, en total 2582 ha plantadas, un 7,03 % de las plantadas en todo Manabí.

2.2. ¿QUÉ ES EL HIDROGEL?

Son polímeros hidrófilos, de condición blanda, flexibles con la capacidad de incrementar su tamaño al ser expuestos al agua, incrementando cuantiosamente su volumen, conservando su forma, aunque en estado deshidratado (xerogel) son de aspectos traslúcidos. El aforo del hidrogel para la absorción de agua brota debido a que en su estructura se hallan conjuntos utilizables hidrófilos, y su tenacidad a la disolución es entregada por la potencia de atracción derivadas por el cruce de sus moléculas. Es de mucha importancia aludir que estas fuerzas de cohesión se compensan por las distintas tipologías de interacciones como

pueden ser: electrostáticas, hidrófobas, interacciones dipolo-dipolo o enlaces de hidrógeno (Palacios *et al*, 2016).

2.3. ESTRÉS HÍDRICO

La tensión hídrica es la causa más importante en la senescencia de diferentes plantaciones, esto sucede cuando la transpiración sobrepasa los niveles de agua absorbida por la zona radicular, o en otras palabras la escasez de agua es mucha más cuantiosa que la cantidad que se acomoda a nuestras posibilidades para compensar las insuficiencias una explícita plantación (Luna *et al*, 2012).

2.4. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL PLÁTANO BAJO ESTRÉS HÍDRICO

Debido a la numerosa demanda hídrica, ya establecidas en musáceas, en plantaciones de dichas especies estas, han exigido al productor recurrir a la implantación de sistemas de riego entre otras tecnologías para retener la humedad del suelo (Salazar *et al*, 2014)

En plantaciones de musáceas en temporal de secano está expuestas a estrés hídrico y problemas de nutrición, lo que perturba el beneficio final y la calidad de manos y dedos producidos. Ríos (2018), manifestó que las elevadas destemplanzas incitan a la minimización de procesos fisiológicos en la familia Musáceas, envolviendo la reducción de la productividad del cultivo para exportación, como la fotosíntesis, respiración, emisión de hojas, desarrollo y absorción de nutrientes, de igual manera se acortan los entrenudos y, en casos inexorables el arrepollamiento exponiendo un desarrollo vegetal mínimo, poca emisión de hojas por planta y bajos rendimientos por escasez de agua en el suelo.

2.5. USO DE HIDROGELES EN LA AGRICULTURA

En situaciones de secano, las plantaciones pueden mostrarse más resistentes a este constituyente abiótico sin ninguna molestia debido a la humedad mediante la usanza de hidrogel. En consecuencia, este puede impedir la evaporación, la filtración de aguas profundas y la lixiviación de nutrientes (Ashraf *et al.*, 2021).

Los hidrogeles tienen la capacidad de absorber y mantener el agua de lluvia y el agua de riego, por lo que son ideales para reducir la percolación profunda por medio del uso de agua gravitacional y capilar. Se ha manifestado que la implementación de hidrogeles al suelo potencia el desarrollo vegetativo y la productividad contribuyendo con peculiaridades de un sinnúmero de cultivos de extensivos, ornamentales y vegetales. Este puede ser aplicado directamente en el área estratégica elegida por el agricultor al momento de la siembra de cultivos junto a la zona de las raíces de la plantación (Kumar et al., 2020).

Los hidrogeles superabsorbentes pueden brindar amplias aplicaciones en el área agrícola e indicaron ser muy favorables para el desarrollo vegetativo de los distintos materiales de siembra y el buen estado de las características del suelo. Estos polímeros son marcadamente diferentes de los materiales higroscópicos debido al arreglo de red multidimensional. Inmoviliza cuantiosa agua en su red 3D y la redime lentamente contiguo a los, micro y macronutrientes para sembrar en un entorno estresado (Rizwan et al., 2021). En tal sentido, se requieren análisis de campo metódicos en situaciones áridas y semiáridas para implementar la cantidad, la periodicidad y la metodología de aplicación apropiados de los innumerables polímeros a diversos cultivos y valorar la economía de la usanza de los desemejantes polímeros (Ashraf et al., 2021).

En la agricultura de secano, los hidrogeles tienen una capacidad muy alta para incrementar la eficacia en el uso del agua y los micro y macronutrientes, atenuando la lasitud de las plantas expuestas a la sequía, mejorando las propiedades físicas y químicas de los estratos y aumentar la producción de las plantaciones, especialmente en zonas áridas y semiáridas del mundo (Giweta y Garedew, 2020; Ashraf et al., 2021).

Estos bastos poliméricos son marcadamente diferentes de los materiales absorbentes, su estructura de red multidimensional, admite inmovilizar mucha agua y liberarla eficientemente en conjunto con los nutrientes en la zona radicular (Rizwan et al., 2021).

2.6. EXPERIENCIAS DEL USO DE HIDROGELES

En asunto de uso de hidrogeles, se evidencian trabajos previos llevados a cabo en banano, pero con riego de complemento. En tal sentido, Barakat et al. (2015) reportaron que con 150 g planta⁻¹ de hidrogel con una lámina de riego al 80% de la demanda del cultivo, se ahorra un 20% de agua de riego. Por su parte, Kassim et al. (2017) reportaron un 12.5% de ahorro en agua de riego en banano, con una productividad de agua de 4.4 kg de fruta por m³ de agua, con la aplicación 1500 g de hidrogel planta⁻¹ año⁻¹.

Una publicación reciente en tomate estableció que el uso de hidrogel súper absorbente a base de almidón de maíz, redujo la lixiviación de nitratos en más del 70%, mejorando la productividad de tomate en temporales de estrés por sequía al mantener más agua y nutrientes en la zona de raíces activas (Kathi et al., 2021). Los hidrogeles pueden absorber y retener el agua y por esto, ayudan a minimizar la percolación profunda mediante la captura del agua gravitacional y capilar. En consecuencia, se pueden evitar la evaporación, la filtración de aguas a mantos profundos y la lixiviación de nutrientes (Ashraf et al., 2021).

Por otro lado, resultados de Pedroza et al. (2015) consiguieron con el uso de hidrogel incrementos en 31.5 y 44.7% de la humedad del suelo y rendimiento de grano en maíz equitativamente, en paralelo al tratamiento sin hidrogel, bajo temporales de secano. Kumar et al. (2015) alcanzaron en tomate una eficacia agronómica de 58 kg de frutos por kg de hidrogel aplicado, una productividad del agua de 279 kg ha⁻¹ mm⁻¹, y un ahorro de agua de 210 mm ha⁻¹. Abdel-Aziz et al. (2020) concluyeron que la aplicación de hidrogel en dosis de 75 g/árbol sobrellevó a una disminución del 25% de la demanda de agua de la plantación, mejorando la producción y la calidad de fruta de mandarina cv. 'Murcott' en tierras áridas y semiáridas.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. LOCALIZACIÓN

El experimento se desarrolló en el Valle del río Carrizal, ubicado en la zona central de Manabí con precipitaciones y temperaturas promedio de 800 y 26°C, respectivamente. El ensayo se estableció específicamente dentro del campus politécnico de la ESPAM MFL.

3.2. DURACIÓN

La presente investigación se realizó de Julio de 2022 a Julio de 2023.

3.3. MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron cormos o rizomas de dos kg y plántulas de plátano cv. Hartón de ocho semanas de edad.

3.4. FACTORES Y TRATAMIENTOS

El experimento se estableció con tratamientos factoriales de dos materiales de siembra (plántulas y rizomas) y cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹), más dos tratamientos controles (plántulas y rizomas sin hidrogel y con riego).

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques al azar en arreglo factorial A (material de siembra) x B (hidrogel) + 2 (controles), con 10 tratamientos, tres repeticiones y 30 unidades experimentales.

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental se conformó de parcelas de 36 plántulas sembradas a 2.5 x 2.5 entre hileras y plantas, donde los datos fueron registrados en las plantas centrales. A continuación, se detalla el esquema del ANOVA.

3.7. ESQUEMA DEL ANOVA

TABLA 3. 1 Esquema de ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	9
Material de siembra (MS)	1
Niveles de hidrogel (NH)	3
MS x NH	3
Rizoma sin hidrogel vs Rizoma con hidrogel	1
Plántulas sin hidrogel vs Plántulas con hidrogel	1
Bloques	2
Error experimental	18
Total	29

3.8. VARIABLES RESPUESTA

- **Tensión hídrica del suelo (Centibares):** se registró durante 16 semanas con sensores de humedad modelo 200SS5, que fueron colocados a 0.20 y 0.40 m de profundidad del suelo, en la zona donde fue colocado el hidrogel. En cada unidad experimental fueron seleccionadas dos plantas al azar, a las cuales se les colocaron sensores de humedad.
- **Actividad fotoquímica del fotosistema II (PSII):** en las dos plantas seleccionadas del centro de la parcela, se registró la actividad fotoquímica del fotosistema II, como rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR). Estas mediciones se realizaron con el Fluorómetro - OS1p, en la mañana (08:30–10:30 horas), medio día (11:00–13:00 horas) y tarde (15:00–17:00 horas) en el tercio medio de una hoja sana y completamente expandida, siguiendo la metodología descrita por Senevirathna et al. (2008). La medición de la F_v/F_m se obtuvo de hojas aclimatadas a oscuridad por 30 minutos, para lo cual se utilizaron clips de adaptación a oscuridad. Las evaluaciones de actividad fotoquímica se realizaron cada 30 días, a partir

del 30 de septiembre hasta el 30 de diciembre de 2022, cuando culminó la temporada seca.

- **Contenido relativo de agua en la hoja (CRA):** se realizó a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, de acuerdo a la metodología propuesta por Sanders y Arendt (2012), para lo cual se tomaron 10 fragmentos de hojas de 10 x 10 cm de cada unidad experimental y se les registró el peso fresco (PF). Luego, los fragmentos se colocaron a saturar en cajas petri con agua destilada por un tiempo de cuatro horas; tiempo después de este período, se registró el peso fresco saturado (PFS), y finalmente se colocaron en estufa durante 48 horas a 65 °C, para determinar el peso seco (PS). Con la ecuación [1] se determinó esta variable:

$$CRA = (PF-PS/PFS-PS)*100 \quad [1]$$

- **Área foliar específica (AFE):** se determinó a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, en fragmentos de hoja con superficie conocida (AF cm²), que fueron secados en estufa a 70°C hasta alcanzar peso seco constante (PSF). Luego con el peso seco de los fragmentos se determinó el AFE con la ecuación [2].

$$AFE = AF/PSF \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \quad [2]$$

- **Contenido de clorofila (unidades SPAD):** se registró a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, lo cual se realizó en las mismas plantas seleccionadas para el registro de humedad y de actividad fotoquímica. El dato fue registrado con el clorofilímetro Minolta SPAD, en el tercio medio de la hoja número 3.
- **Partición de la materia seca (g):** se registró a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, mediante muestreo destructivo, colocando tejido de hojas, pseudotallo, cormo y raíces por separado en estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante, siguiendo la metodología de Senevirathna et al. (2008).
- **Tasa de acumulación de materia seca en el tiempo (g planta⁻¹):** se registró a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, mediante muestreo destructivo, colocando tejido de hojas, pseudotallo, cormo y raíces por separado en estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante, siguiendo la metodología de Senevirathna et al. (2008).

3.9. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias con prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

3.10. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

- **Material de siembra:** se utilizaron cormos de 2 kg de peso y plántulas propagadas en vivero de ocho semanas de edad.
- **Siembra:** la siembra se realizó en hoyos de 40 x 40 cm, donde se colocaron las plantas y rizomas con los respectivos tratamientos de hidrogel mezclados homogéneamente con el suelo.
- **Fertilización:** la fertilización se la realizó al momento de la siembra con el fertilizante compuesto Yaramilla Integrador. La dosis de fertilización fue de 100 gramos planta⁻¹.
- **Control de malezas:** las malezas fueron controladas a base de herbicidas de contacto como paraquat y glufosinato de amonio.
- **Labores culturales:** se realizaron deshijos, deschantes y deshojes fitosanitarios.
- **Control de plagas y enfermedades:** estas labores se realizaron de acuerdo a los umbrales económicos establecidos para el cultivo de plátano.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de humedad del suelo registrados a 0,20 y 0,40 m de profundidad, mostraron que todos los niveles de hidrogel logran mantener la humedad del suelo dentro de los rangos de capacidad de campo de 0 a 190 centibares (Figuras 1 y 2). Las plántulas de vivero resultaron ser más sensibles a la pérdida de humedad, dado que a partir de los 30 días después de la siembra (semana 4), comenzaron a manifestar amarillamiento en hojas bajas e inicio de marchitez, a pesar de que aun la humedad se mantenía en rangos de capacidad de campo, por lo que fue necesario volver a regar cada cuatro semanas (Figura 1 y 2). Por el contrario, las plantas procedentes de cormos, lograron soportar hasta 60 días después de la siembra sin riego (semana 8), tiempo en el cual también manifestaron amarillamiento de hojas bajas e indicios de marchitez, por lo que hubo que suplementar riego para rehidratar el hidrogel (Figuras 1 y 2).

Lo anterior puede deberse a que las plántulas de vivero no cuentan con un cormo desarrollado que aporte reservas de agua y nutrientes, además de que ya vienen con un sistema foliar y radicular desarrollado, que lógicamente presentará una mayor tasa de consumo de agua vía absorción y transpiración. Por el contrario, una planta originada por cormo cuenta con reservas de agua y nutrientes, que puede sustentar el crecimiento inicial de la planta sin mayor consumo de agua. En este sentido, estudios previos señalan que tanto las plántulas *in vitro* y las provenientes de rizomas o cormos presentan potencial productivo similar en campo, aunque las provenientes de rizomas presentan mayores reservas nutritivas que potencian su crecimiento inicial en condiciones menos favorables (Blomme et al., 2008; Vargas, 2015). Sin embargo, bajo condiciones de riego las plantas *in vitro* tienen la ventaja en todos los aspectos fisiológicos y agronómicos (Galán y Robinson, 2013).

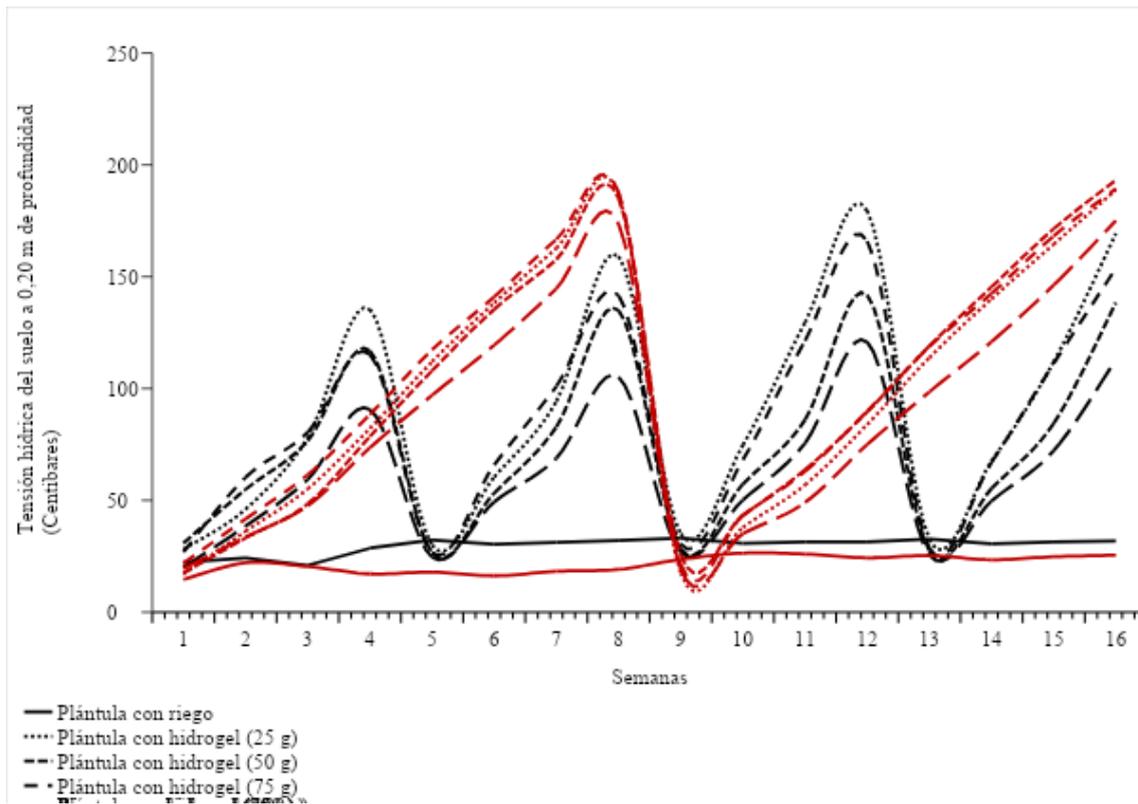


Figura 4. 1 Tensión hídrica del suelo a los 0,20 m de profundidad en función del tipo de planta, riego y dosis hidrogel,

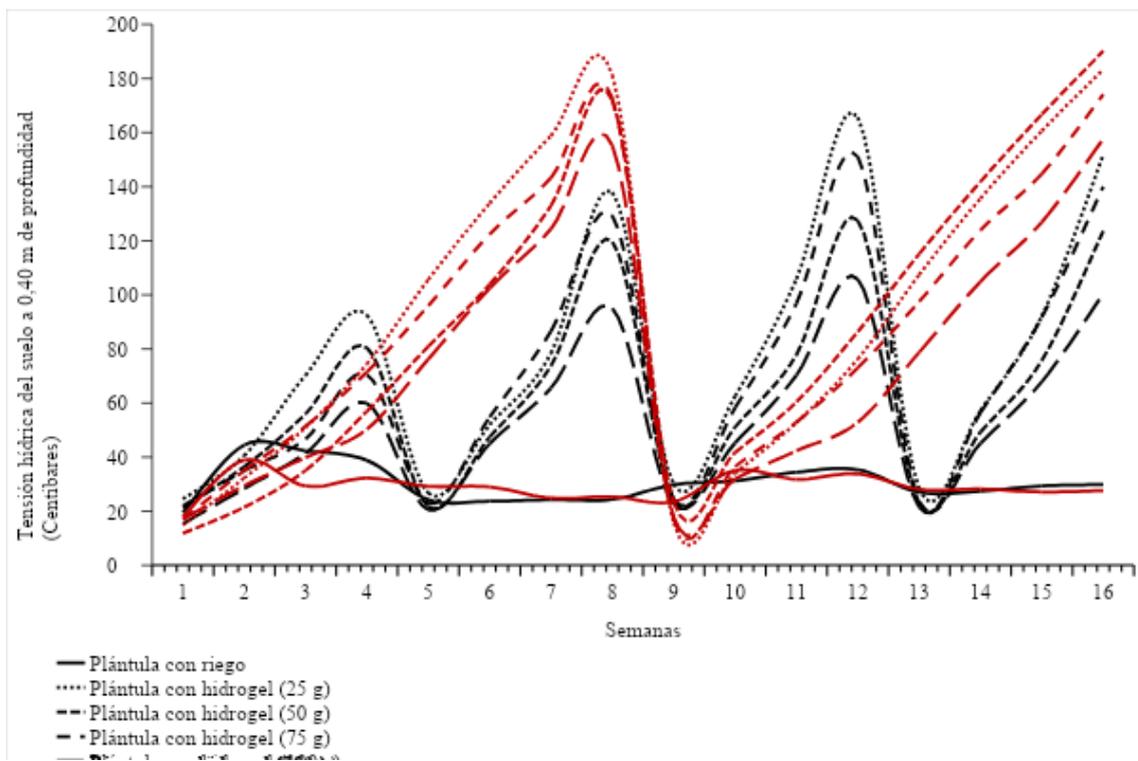


Figura 4. 2 Tensión hídrica del suelo a los 0,40 m de profundidad en función del tipo de planta, riego y dosis hidrogel.

La actividad fotoquímica del PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m y ETR) no fue influenciada significativamente ($p > 0,05$) por la interacción dosis de hidrogel x materiales de siembra, pero sí por los factores principales dosis de hidrogel y materiales de siembra evaluados ($p < 0,05$). En todos los casos el tratamiento con riego logró mejores respuestas fisiológicas con relación a los tratamientos con hidrogel (Figura 3). Para el caso del rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) en función de las dosis de hidrogel, los valores promedios oscilaron entre 0,62 a 0,73 en horas de la mañana, al medio día se presentó una caída de entre 0,45 a 0,56 y con una recuperación hacia la tarde de entre 0,65 a 0,75, donde los valores más bajos corresponden a los tratamientos de hidrogel y los más altos al tratamiento con riego (Figura 3A). Comportamiento similar se presentó entre materiales de siembra, donde los tratamientos con riego lograron mayores promedios de Φ_{PSII} a lo largo del día, mientras que para los tratamientos de hidrogel se evidenció diferencias entre los materiales de siembra, con mejor respuesta por parte de las plantas originadas por cormos (Figura 3B).

Los resultados de Φ_{PSII} obtenidos, fluctúan dentro de los rangos considerados normales por Dongsansuk y Neuner (2013 A y B) para *Musa spp.*, a rangos de temperaturas de la hoja entre 22,5 a 37,5. La caída del Φ_{PSII} al medio día, que fue más notoria en los tratamientos con hidrogel, puede explicarse por la mayor temperatura y cierre estomático que sucede normalmente en esos horarios por el desequilibrio entre absorción y transpiración de agua, lo cual disminuye el rendimiento cuántico de asimilación del CO_2 , que es proporcional al Φ_{PSII} en condiciones no foto-respiratorias (Genty et al., 1989).

La eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) mostró un comportamiento similar al descrito para el rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) a lo largo del día, con promedios mayores para el tratamiento con riego y menores para los de hidrogel. En todo caso los promedios de la mañana se mantuvieron cercanos a 0,80 para tratamientos de hidrogel y superior para el riego, al medio día se dio una caída de hasta 0,75 y una recuperación hacia la tarde con promedios cercanos a 0,80 para los tratamientos de hidrogel y superiores a 0,80 para tratamientos de riego (Figuras 3C y 3D). Estos resultados indican que el hidrogel es capaz de mantener valores de F_v/F_m en rangos suficientemente elevados como para no caer en estado de fotoinhibición y pérdida de función del aparato fotosintético. Los

valores de F_v/F_m alcanzados se encuentran dentro de los rangos descritos por Ramos et al. (2019), quienes reportaron valores de F_v/F_m mayores a 0,80 cuando se riega al 65 y 100% de la capacidad de campo, pero disminuyen a medida que las plantas crecen y el suelo pierde humedad.

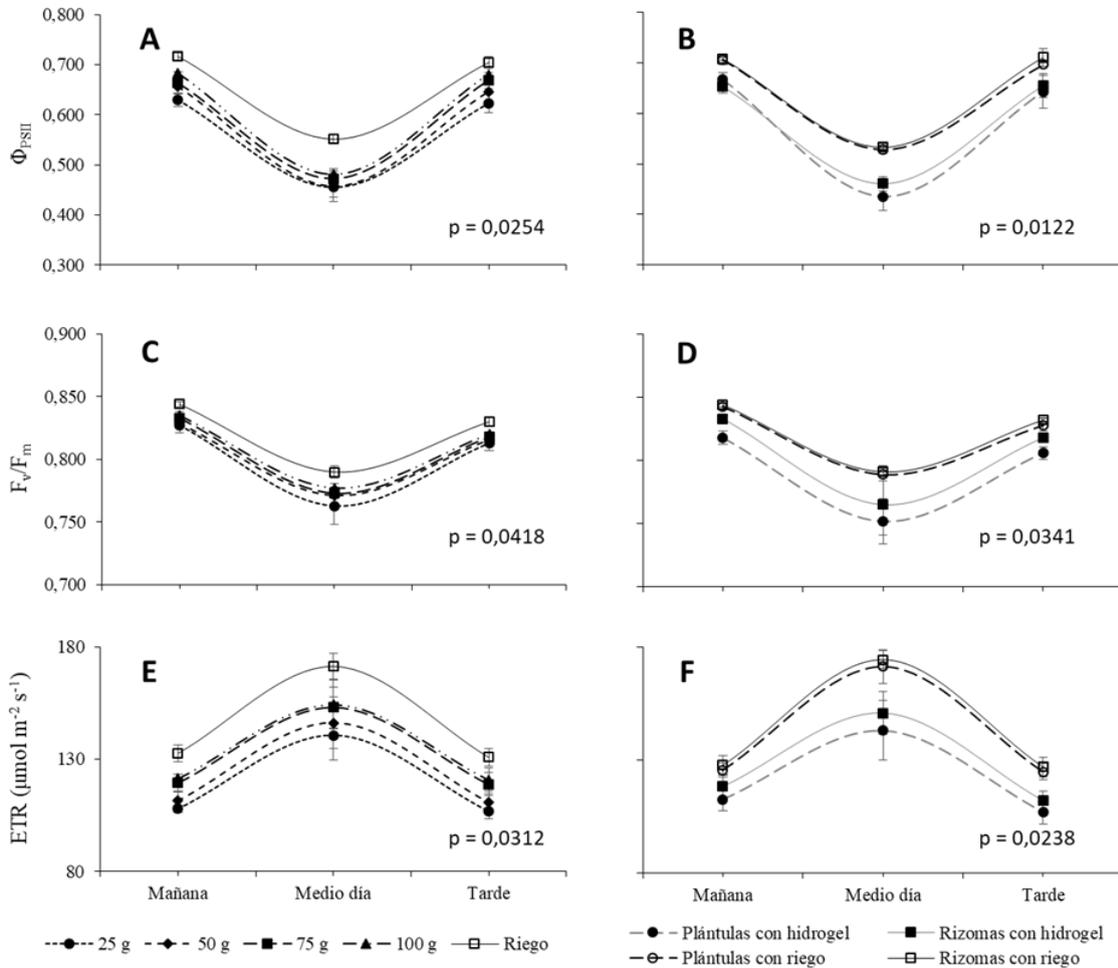


Figura 4. Rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR), en función de dosis de hidrogel (A) y materiales de siembra (B).

La tasa transporte electrónico (ETR) fue mayor en los tratamientos de riego, con relación a los tratamientos de hidrogel, independientemente de las dosis y los materiales de siembra. La ETR fue menor en todos los tratamientos en horas de la mañana y la tarde, pero se incrementó al medio día, lo cual se relaciona con la variación en la intensidad de la radiación a lo largo del día (Figuras 3E y 3F). Sin embargo, en los tratamientos de hidrogel los valores de ETR se mantienen en niveles cercanos a los reportados por Siles et al. (2013) para banano en condiciones de campo, que van desde 95 con baja radiación a 163 en condiciones de alta radiación, por lo que se concluye que el hidrogel proporciona

la suficiente humedad como para no provocar un estrés intenso y permitir la regeneración de la RuBP, importante en la fijación del CO₂.

El contenido hídrico relativo de agua en la hoja (CHR) fue afectado significativamente ($p < 0.05$) por las dosis de hidrogel evaluadas a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra, donde el tratamiento con riego logró los mayores promedios de CHR, mientras que hasta los 90 días los niveles hidrogel de 25 y 50 g planta⁻¹, alcanzaron el menor valor de CHR con relación a las mayores dosis de hidrogel (Figura 4). A los 120 días no se detectó diferencias entre niveles de hidrogel, lo cual se debió a que, hacia finales del mes de diciembre, se presentaron precipitaciones que volvieron a rehidratar el hidrogel, y por tanto las plantas lograron hidratarse de mejor manera, aunque no logran igualar el CHR del tratamiento con riego (Figura 4).

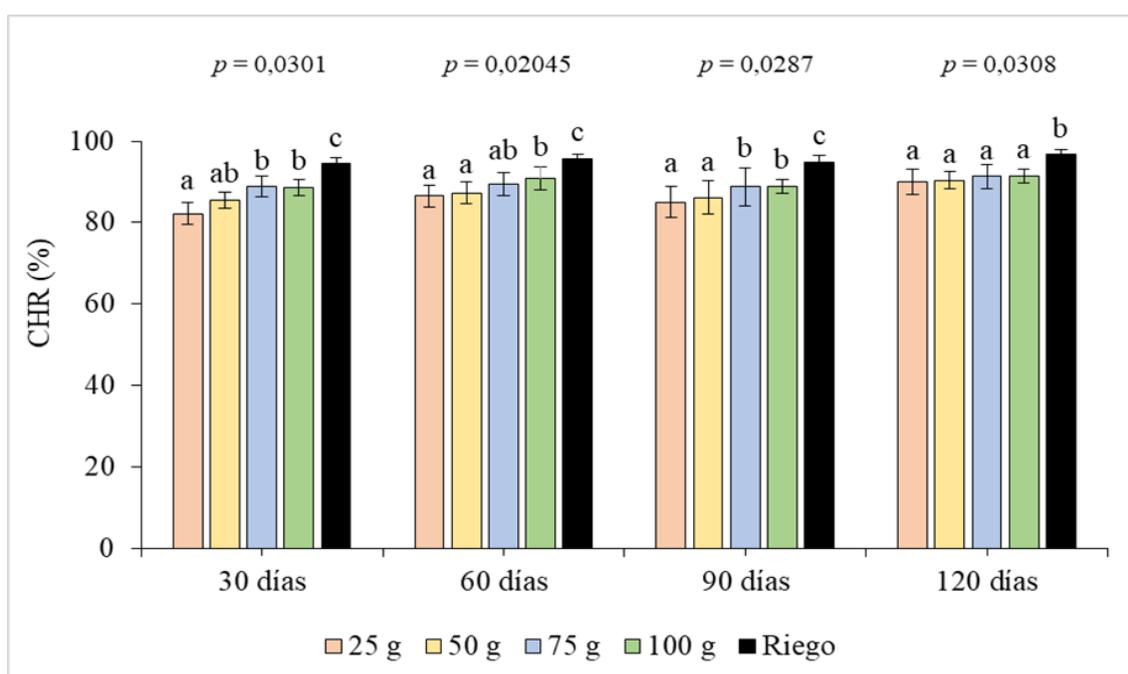


Figura 4. 4 Contenido hídrico relativo de la hoja (CHR) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.

Se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre materiales de siembra sólo para los tratamientos de hidrogel, donde las plantas originadas por rizomas logran mantener un mayor CHR. Por otra parte, bajo condiciones de riego el CHR no es influenciado por el material de siembra (Figura 5). Los resultados muestran que el uso de hidrogel mantiene una hidratación foliar por encima del 85%, lo cual es relativamente menor al grado de hidratación logrado por el riego, pero que puede ser considerado un estado hídrico adecuado para

plátano de secano. Estos resultados son cercanos a los logrados por Mahouachi (2009), quien reportó que después de 62 días de estrés hídrico, el CHR en banano apenas se redujo y se mantuvo por encima del 90%, lo cual denota que las plantas de banano poseen un mecanismo para evitar la sequía en respuesta al estrés hídrico. Resultados similares fueron alcanzados por Nansamba et al. (2022) quienes reportaron reducciones de CHR entre 5.8 y 7.8% en cultivares tolerantes a sequía. De forma similar, Lau et al. (2023) reportaron que plantas de banano bajo estrés hídrico por 7 y 14 días, disminuyeron el CHR en un 3 y 9%, con relación a plantas bien regadas.

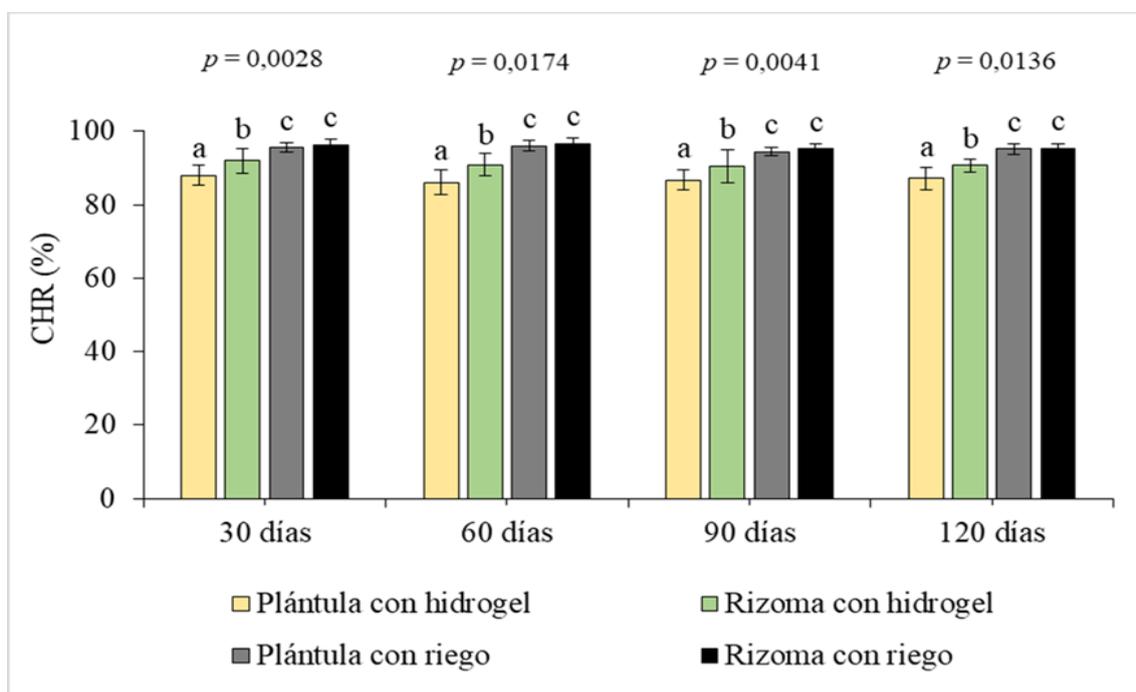


Figura 4. 5 Contenido hídrico relativo de la hoja (CHR) en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.

El área foliar específica (AFE) también fue influenciada significativamente ($p < 0.05$) por los niveles de hidrogel probados en todos los periodos evaluados, donde se evidenció que con el riego las plantas logran mayor AFE, mientras que con el hidrogel el AFE disminuye en promedio un 7.6, 6.93, 4.49 y 3.84% con las dosis de 25, 50, 75 y 100 g planta^{-1} , respectivamente, con respecto al tratamiento con riego (Figura 6). Esta reducción del AFE no puede considerarse como severa, considerando que estudios previos indican hasta un 20% de reducción del área foliar en plantas de banano sometidas a estrés hídrico, con relación a plantas regadas (Mahouachi, 2009; Surendar et al., 2013C).

En cuanto a los materiales de siembra, el AFE solo fue afectada significativamente ($p < 0.05$) para el caso de los tratamientos con hidrogel, donde en promedio las plántulas de vivero mostraron una disminución de AFE de apenas del 4.36%, con relación a las plantas originadas por rizomas. Mientras que bajo riego, no hay diferencias entre tipo de plantas (Figura 7).

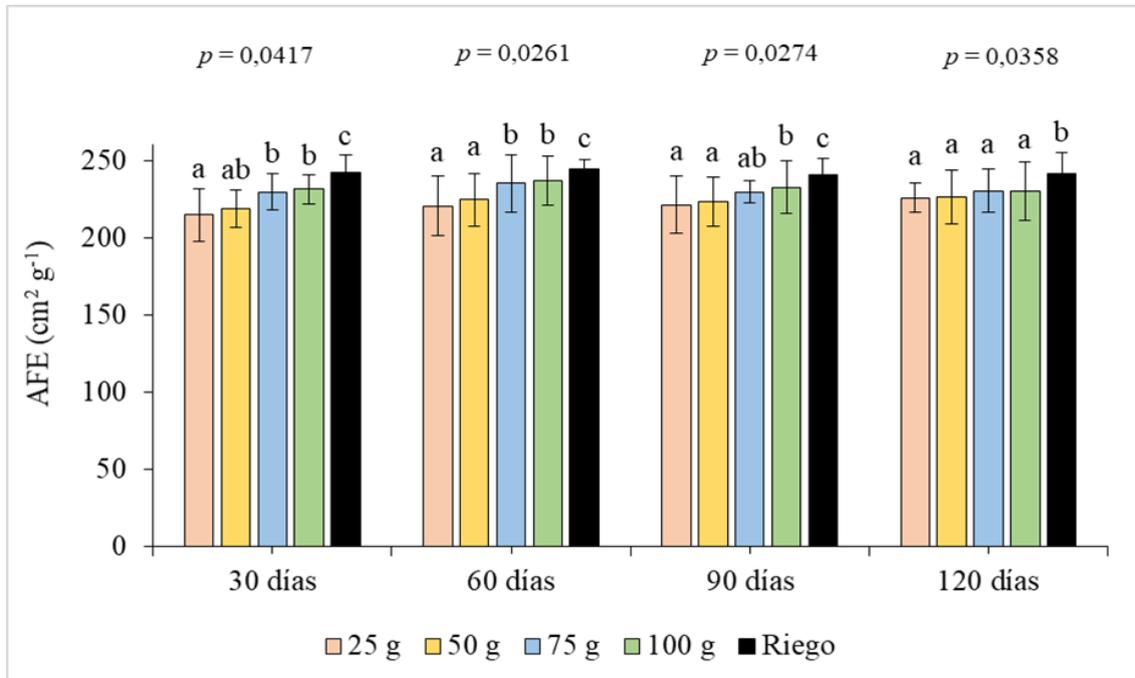


Figura 4. 6 Área foliar específica (AFE) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.

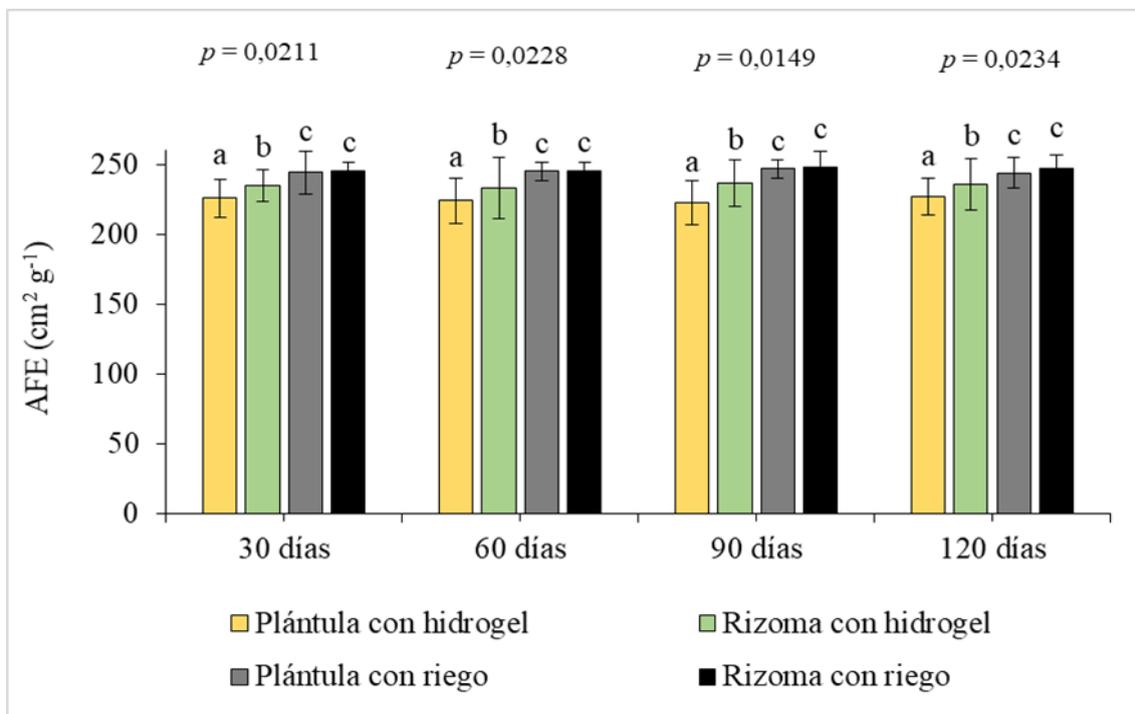


Figura 4. 7 Área foliar específica en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.

Los niveles de hidrogel influyeron significativamente ($p < 0.05$) el contenido de clorofila (unidades SPAD) durante todos los periodos evaluados, donde se evidenció que la clorofila disminuye con los tratamientos de hidrogel, con relación al tratamiento de riego (Figura 8), lo cual demuestra que una disminución del agua disponible en el suelo provoca la degradación de la clorofila, lo cual puede ser debido a que se reduce la movilidad de nutrientes claves como N y Mg que son componentes estructurales de la clorofila (Ramos et al., 2019). El contenido de clorofila en promedio disminuyó un 15.43, 14.46, 12.06 y 10.33%, con 25, 50, 75 y 100 g de hidrogel planta⁻¹, respectivamente, con relación al tratamiento con riego (Figura 8).

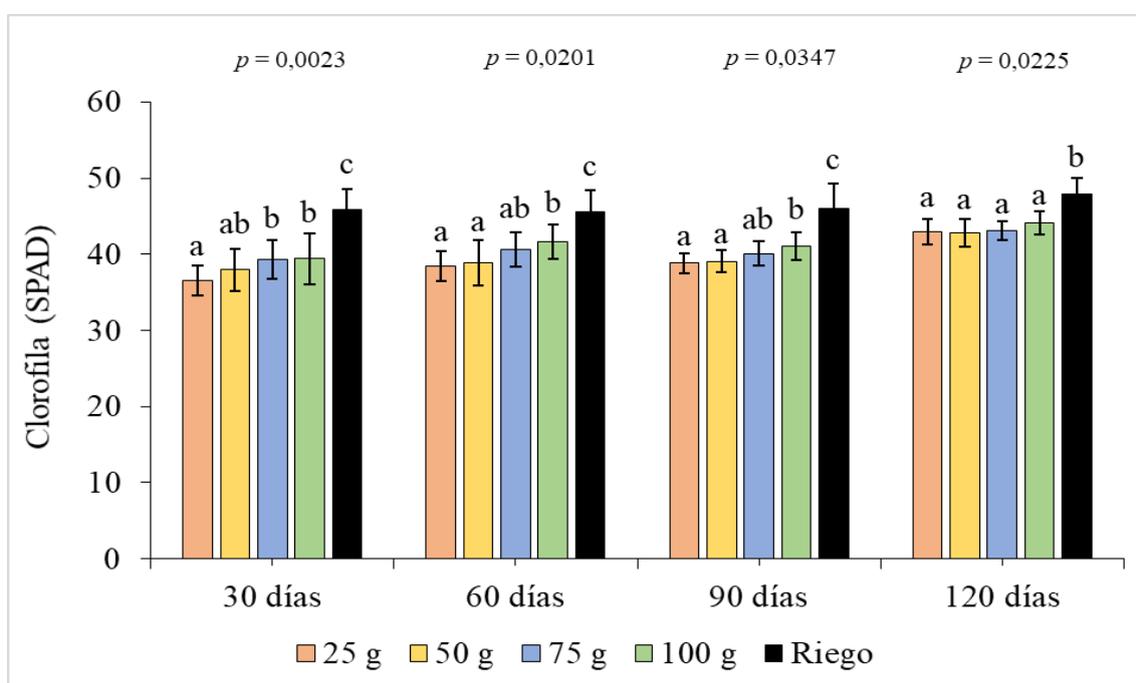


Figura 4. 8 Contenido de clorofila (unidades SPAD) en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.

El tipo de material de siembra sólo influyó de manera significativa ($p < 0.05$) el contenido de clorofila bajo el efecto del hidrogel, mientras que con riego ambos materiales de siembra fueron estadísticamente iguales (Figura 9). Bajo el efecto del hidrogel, las plántulas de vivero mostraron una reducción promedio del 10.99%, con respecto a las plantas de rizoma, lo cual denota la mayor tolerancia de estas plantas a la falta de agua (Figura 9). Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Nansamba et al. (2022), quienes reportaron disminuciones del contenido de clorofila (unidades SPAD) de entre 6.6 hasta 40.3% en cultivares de musáceas tolerantes y sensibles a estrés hídrico, respectivamente.

Lo anterior demuestra que a pesar de que con el uso de hidrogel hay una disminución del contenido de clorofila con respecto a plantas regadas, esta disminución no es severa, si se la compara con resultados de investigaciones previas, donde bajo condiciones de estrés hídrico la clorofila disminuye por debajo de las 30 unidades SPAD (Ramos et al., 2019; Nansamba et al., 2022). La reducción del contenido de clorofila en musáceas bajo experimentos de agobio hídrico, también ha sido reportado por Surendar et al. (2013 A y B) y Lau et al. (2023).

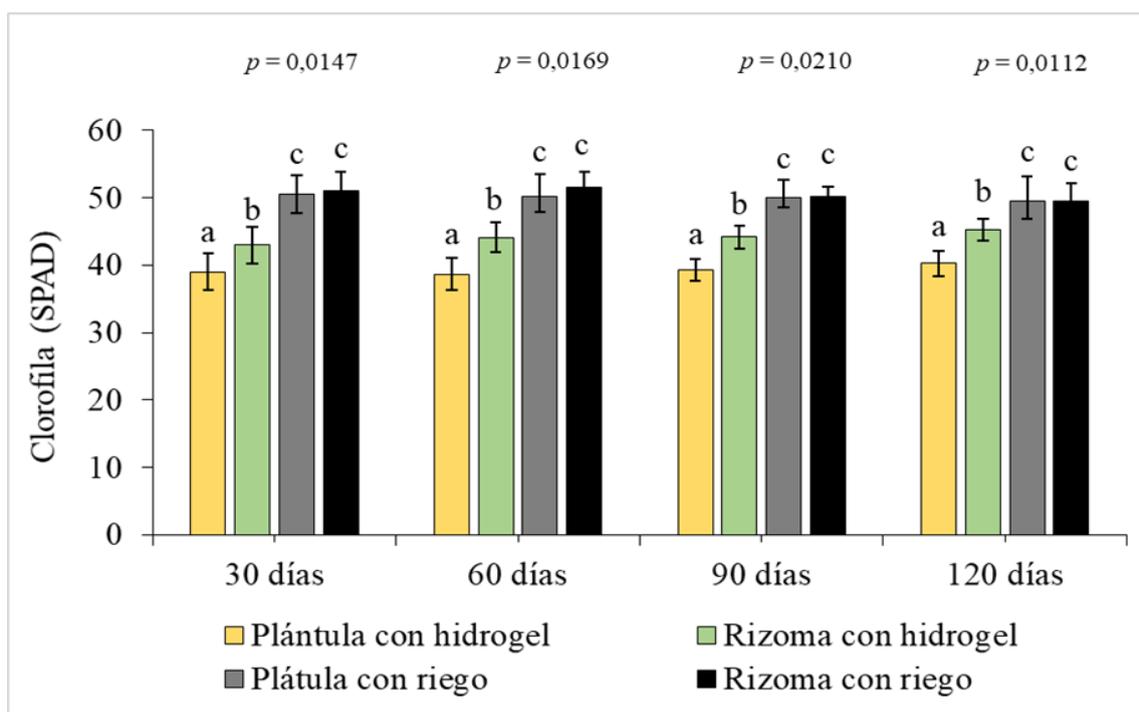


Figura 4. 9 Contenido de clorofila (unidades SPAD) en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.

La participación o distribución de la materia seca, no se vio mayormente afectada por las dosis de hidrogel y los materiales de siembra evaluados, con respecto a tratamientos con riego (Figuras 10 y 11). Los resultados revelan que con hidrogel el plátano manifiesta una distribución de la materia seca, similar a la presentada por plantas regadas, lo cual puede deberse a que la humedad proporcionada por el hidrogel en el suelo, contribuyó a formar un bulbo de humedad donde se concentraron las raíces, y por tanto las plantas no tuvieron la necesidad de inducir un crecimiento extra de la raíces hacia zonas profundas del suelo, lo cual hubiera provocado un cambio en la dinámica de la distribución de la materia seca. En este sentido, los resultados discrepan con los obtenidos por Nansamba et al. (2022), quienes reportaron mayor proporción de materia seca en raíces de

plantas bajo estrés hídrico con respecto a plantas regadas, lo cual puede deberse a que la planta destina mayor energía para favorecer el crecimiento de raíces para una mayor exploración del suelo por agua.

Las proporciones de cormo, pseudotallo y hojas logradas, se encuentran en los rangos reportados por Martínez y Cayón (2011) para plantas de banano al inicio del crecimiento.

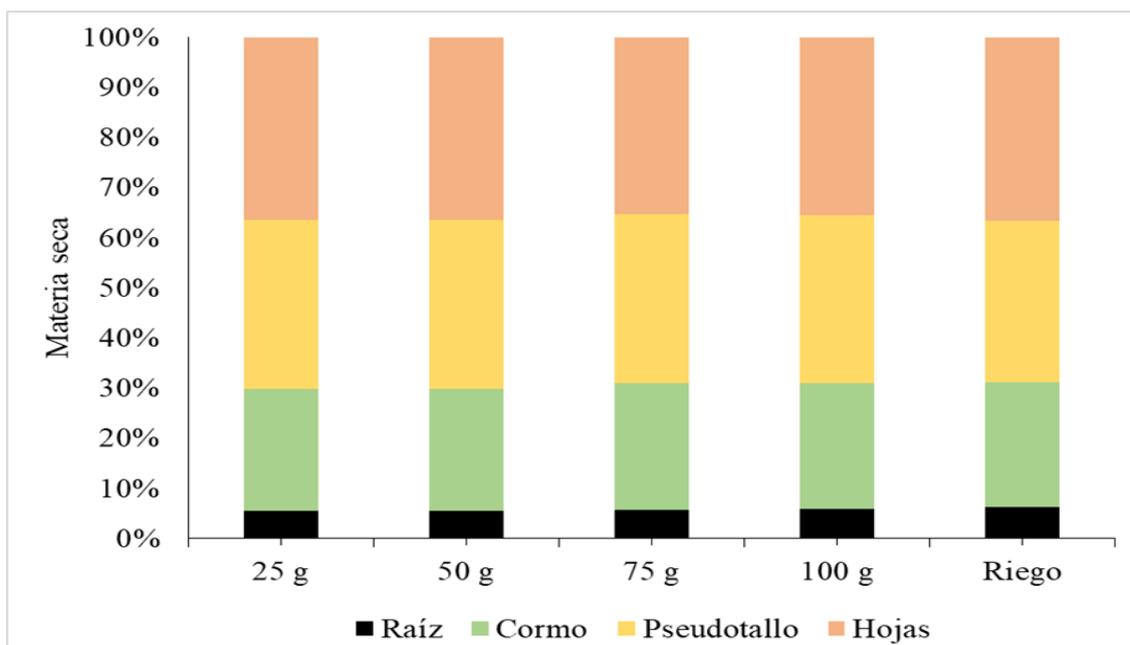


Figura 4. 10 Distribución de la materia seca en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.

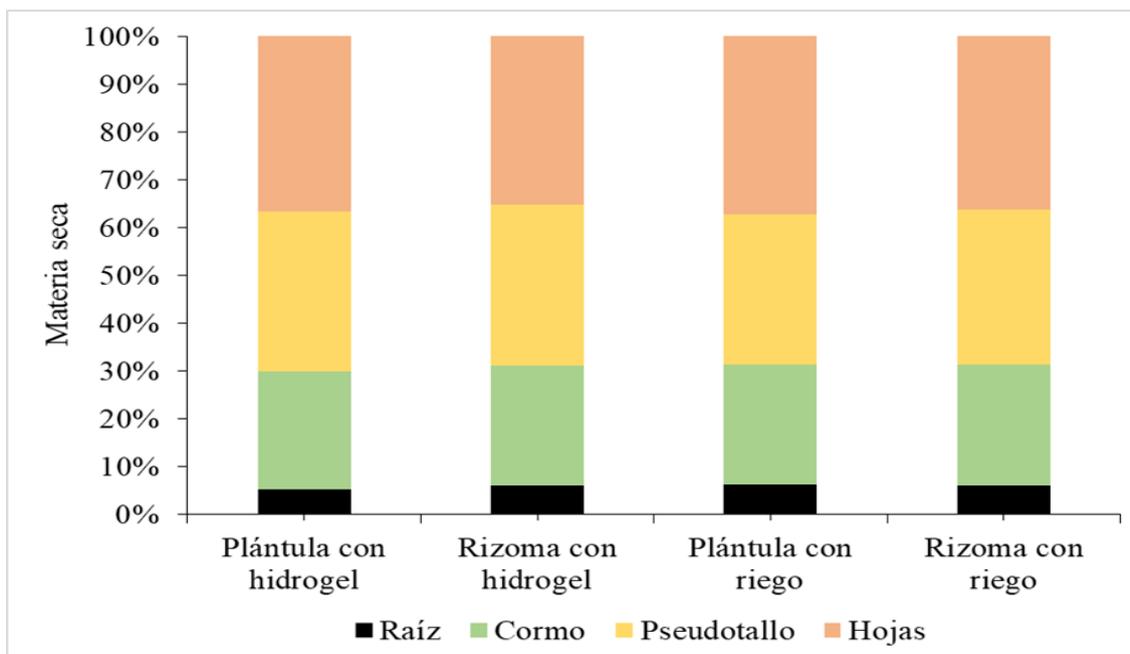


Figura 4. 11 Distribución de la materia seca en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.

La acumulación de materia seca a través del tiempo, fue mayor en el tratamiento de riego, seguido por las dosis mayores de hidrogel (75 y 100 g planta⁻¹), mientras que las dosis de 25 y 50 g de hidrogel planta⁻¹ mostraron una acumulación de materia seca menor, lo cual está relacionado a la menor cantidad de agua retenida por estos tratamientos (Figura 12).

En cuanto a la acumulación de materia seca en función de los tipos de materiales de siembra con hidrogel y riego, se evidenció que bajo el efecto del hidrogel las plantas originadas por rizomas acumulan mayor cantidad de materia seca en el tiempo, con relación a las plantas de vivero, mientras que bajo el efecto del riego, la acumulación de materia seca de ambos materiales de siembra fue similar (Figura 13).

La tendencia de crecimiento y acumulación de materia seca en el tiempo, con los tratamientos de hidrogel y riego, son similares a los alcanzados por Martínez y Cayón (2011) y Taulya et al. (2014), quienes reportaron una mayor tasa de acumulación de materia seca a partir de los 60 días después de la siembra, posiblemente debido a que la mayor actividad fotosintética de las hojas.

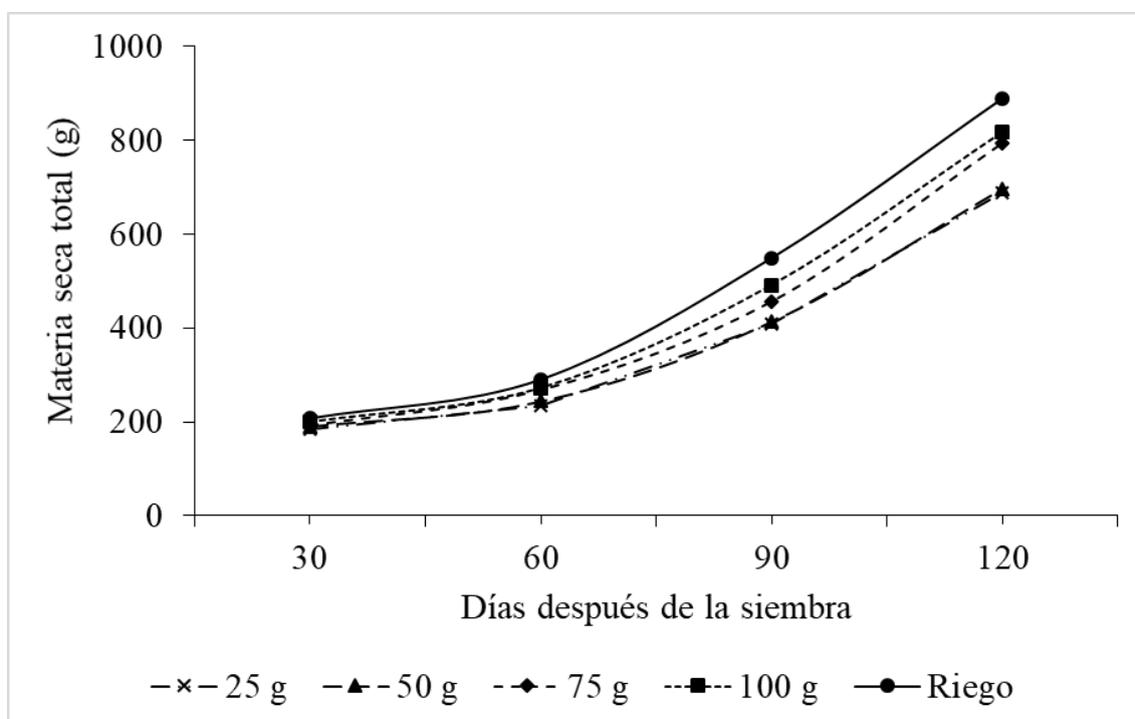


Figura 4. 12 Acumulación de materia seca en plátano en función de dosis crecientes de hidrogel.

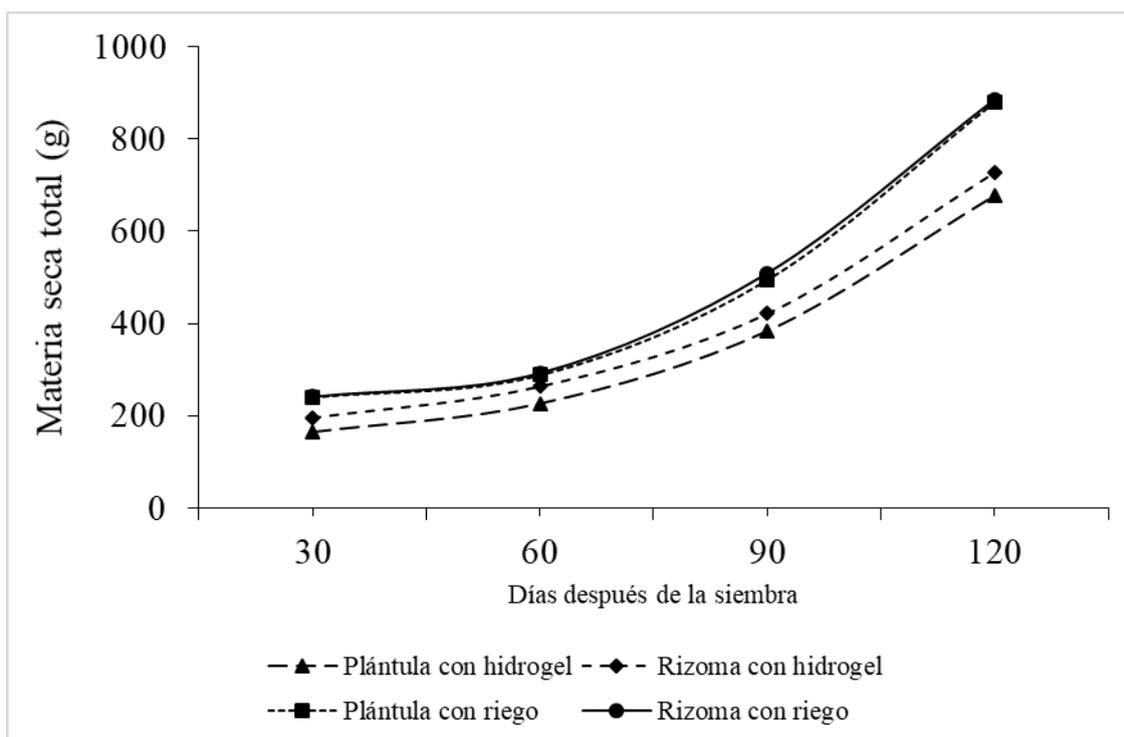


Figura 4. 13 Acumulación de materia seca en plátano en función del tipo de planta, riego e hidrogel.

Los resultados logrados en esta investigación evidencian que el uso de hidrogel puede ser una alternativa tecnológica que puede contribuir a retener agua suficiente como mantener un crecimiento continuo del plátano y la actividad fisiológica en niveles adecuados para plátano, sin necesidad de riego durante al menos 30 días para plántulas de vivero y hasta 60 días para plantas de rizoma bajo condiciones de secano, aunque sin llegar a igual el crecimiento y actividad fisiológica logrado por plantas bajo riego.

Estos resultados son importantes, debido a que se puede recomendar a los agricultores la siembra anticipada de plántulas y rizomas 30 y 60 días antes de las lluvias, respectivamente, con el uso de 25 g planta^{-1} de hidrogel, lo cual ayudaría a un mejor aprovechamiento del agua del suelo, durante el corto periodo de lluvias (enero-abril) que se da en la mayor parte del centro-sur de Manabí, y que coincidiría con la mayor demanda hídrica del cultivo. Además, después del periodo de lluvias, el hidrogel ayudaría a retener mayor cantidad de agua remanente en el suelo, lo cual ayudaría al plátano a acortar su ciclo productivo y producir en meses secos (septiembre, octubre y noviembre) donde hay mayor demanda y precios del plátano en el mercado.

El efecto logrado por el hidrogel se debe, a las matrices tridimensionales, constituidas por polímeros hidrófilos lineales o ramificados, capaces de hidratarse y retener gran cantidad de agua dentro de su matriz, que una vez mezclados con el suelo, facilitan el crecimiento de las plantas al brindar un ambiente rico en agua y nutrientes, que serán liberados lentamente para un aprovechamiento más prolongado y eficiente, al reducirse también la pérdida de agua del suelo por evaporación (Rizwan et al., 2021).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El uso de hidrogel permite sembrar plátano con 60 días de anticipación a la época de lluvias, siempre y cuando se utilice cormos o rizomas como material de siembra, mientras que si se utiliza plantas propagadas en vivero, se puede anticipar la siembra hasta 30 días antes de las lluvias.

El uso de 25 g planta⁻¹ de hidrogel, puede ser suficiente bajo las condiciones donde se desarrolló el experimento, para mantener la humedad del suelo en rangos de capacidad de campo, y hacer posible la sobrevivencia de las plantas, sin que se vea mayormente afectado su crecimiento y actividad fisiológica.

4.2. RECOMENDACIONES

Recomendar el uso de 25 g planta⁻¹ de hidrogel para establecer plátano vía plántulas de vivero y cormos, 30 y 60 días antes de la llegada de las lluvias, respectivamente.

Repetir la investigación hasta medir la productividad del cultivo, con el fin de verificar la plasticidad fisiológica del cultivo bajo el efecto del hidrogel.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aziz, H., Khalifa, S., Hamdy, A. 2020. Hydrogel as a soil conditioner affecting the growth, yield, and fruit quality of 'Murcott' mandarin trees under arid and semi-arid lands. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research* 45(2): 76-85.
- Ashraf, A.; Ragavan, T., & Begam, D. (2021). Superabsorbent Polymers (SAPs) Hydrogel: Water Saving Technology for Increasing Agriculture Productivity in Drought Prone Areas: A Review. *Agricultural Reviews*. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2023>.
- Alvarez, E. Leon, S. Sanchez, M. & Cusme, B. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studies*. 4(2), 86-95. [file:///C:/Users/Hp/Downloads/DialnetEvaluacionSocioeconomicaDeLaProduccionDePlatanoEnL-7888294%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/DialnetEvaluacionSocioeconomicaDeLaProduccionDePlatanoEnL-7888294%20(1).pdf)
- Bannayan, M., Rezaei, E., & Hoogenboom, E. (2013). Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management* 126: 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.001>
- Barakat, M., El-Kosary, S., Borham, T., & Abd-ElNafea, M. (2015). Effect of Hydrogel Soil Addition under Different Irrigation Levels on Grandnain Banana Plants. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants* 7 (1), 19-28. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2015.7.1.1152>
- Baquero, J. (2017). Vulnerabilidad socioecológica y socioeconómica en cadenas de valor agrícola. El caso de la producción del plátano en Colombia. *ReLaER*. 2(3), 2525-1635. [file:///C:/Users/Hp/Downloads/198-811-2-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/198-811-2-PB%20(1).pdf)
- Buah, J., Kawamitsu, Y., Yonemori, D., & Murayama, S. (2000). Field Performance of In vitro-propagated and Sucker-derived Plants of Banana (*Musa* spp.). *Plant Production Science* 3(2), 124-128. <https://doi.org/10.1626/pps.3.124>

- Blomme, G., Swennen, R., Tenkouano, A., Turyagyenda, F., Soka, G., & Ortiz, R. (2008). Comparative study of shoot and root development in micropropagated and sucker-derived banana and plantain (*Musa* spp.) plants. *Journal of Applied Biosciences*, 8 (2): 334 – 342.
- Dongsansuk, A., & Neuner, G. 2013A. Effects of temperature and irradiance on quantum yield of PSII photochemistry and xanthophyll cycle in a tropical and a temperate species. *PHOTOSYNTHETICA* 51 (1): 13-21. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0070-2>
- Dongsansuk, A., & Neuner, G. 2013B. Temperature optimum, stress temperature range and thermal limits of quantum yield of PSII in tropical versus temperate plants. *Trends in photochemistry & photobiology*, 15, 77-87.
- Eckstein, K., & Robinson, J. (1995). Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. IV. Comparison between tissue culture and conventional planting material during the first months of development. *Journal of Horticultural Science*, 70(4), 549-559. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515326>
- Giweta, M., & Garedew, E. (2020). Hydrogel: A Promising Technology for Optimization of Nutrients and Water in Agricultural and Forest Ecosystems. *Int J Environ Sci Nat Res* 23(4), 106-111. IJESNR.MS.ID.556116. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2020.23.556116>
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2020). Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico N-02-2020-MOD_AMB_ESPAC. Quito, Ecuador. 11 p.
- Kassim, F., El-Koly, M., & Hosny, S. (2017). Evaluation of Super Absorbent Polymer Application on Yield, and Water Use Efficiency of Grand Nain Banana Plant. *Middle East J. Agric. Res.*, 6(1): 188-198.

- Kathi, S., Simpson, C., Umphres, A., Schuster, G. 2021. Cornstarch-based, Biodegradable Superabsorbent Polymer to Improve Water Retention, Reduce Nitrate Leaching, and Result in Improved Tomato Growth and Development. *HORTSCIENCE* 56(12):1486–1493. doi.org/10.21273/HORTSCI16089-21.
- Kumar, R.; Yadav, S.; Singh, V.; Kumar, M.; Kumar, M. 2020. Hydrogel and its effect on soil moisture status and plant growth: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3): 1746-1753.
- Lau, S., Pua, T., Saidi, N., Abdullah, J., Lamasudin, D., & Tan, B. (2023). Drought Stress Alters Photosynthetic and Carbohydrate-related Proteins in Leaves of Banana. Research Square, 1-42. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11039-3>.
- Luna, W. Estrada, H. Jimenez, J. & Pinzon. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*. 30(4), 0187-5779. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400343#:~:text=El%20estr%C3%A9s%20h%C3%ADdrico%20es%20una,agua%20absorbida%20por%20las%20ra%C3%ADces
- Mahouachi, J. (2009). Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. *Scientia Horticulturae*, 120, 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.12.002>
- Martinez A, Cayon D. 2011 Dinámica del Crecimiento y Desarrollo del Banano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*, vol 64 (2): 65-60.
- Montiel, C., Gallegos, A., Ortega, A., Bautista, F., Gopar, F., & Velázquez, A. 2019. Análisis climático para la agricultura de temporal en Michoacán, México. *Ecosist. Recur. Agropec.* 6(17):307-316 <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.1972>

- Nansamba, R., Sibiya, J., Tumuhimbise, R., Karamura, D., Kubiriba, J., Karamura, E. 2020. Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: *A review. Plant Breeding*.139(4), 1–12. <https://doi.org/10.1111/pbr.12812>
- Nansamba, M., Sibiya, J., Tumuhimbise, R., Karamura, D., Ssekandi, J., Tinzaara, W., & Karamura, E. (2022). Response of banana (*Musa* spp.) to drought stress based on phenotypic and physiological traits. *Journal of Crop Improvement*. 1-25. <https://doi.org/10.1080/15427528.2022.2148313>
- Panigrahi, N., Thompson, A., Zobelzu, S., & Knox, J. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae* 276, 109735. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>
- Pérez, R., Hinojosa, M., & Manzaba, J. (2018). The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: *Climatological Study. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(1): 5-12.
- Pedroza, A., Yáñez, L., Sánchez, I., Samaniego, J. 2015. Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 38 (4) 375 – 381.
- Paz, R. & Pesantez, Z. (2013). Potencialidad del plátano verde en la nueva matriz productiva del ecuador. *Yachana*. 2(2), 203– 210. <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/47/42>
- Palacios, A. Rodríguez, R. Prieto, F. Meza, J. Razo, R & Hernández, M. (2016). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 3(5), 2334-2501 <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1700103.pdf>
- Ravi, I., Uma, S., Vaganan, M., & Mustaffa, M. (2013). Phenotyping bananas for drought resistance. *Frontiers in Physiology* 4(9), 1 – 15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00009>

- Ramos, L., Meneses, P., Reis, F., da Silva, B., & Reis, I. 2019. Ecophysiology of banana seedlings grown in different water regimes. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2): 440-447.
- Rios, S. (2018). Evaluación del efecto de un hidrogel natural y diferentes dosis de fertilización compuesta sobre parámetros de crecimiento del plátano (*Musa aab simmonds*) y las características físicas del racimo en la finca si trabajas, del municipio de San Juan de Urabá-Antioquía. [Tesis de grado Universidad nacional abierta y a distancia Unad Facultad de ingeniería Programa de agronomía]
<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/27450/3/sariossa.pdf>
- Rizwan, M.; Gilani, S.; Durani, A.; Naseem, S. 2021. Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field. *Journal of Advanced Research*, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.03.007>.
- Rodrigues, S., Ferreira, E., Rocha, P., de Magalhães, A., Rocha, M., & de Oliveira, P. (2013). ECOFISIOLOGIA E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM BANANEIRA. XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos) 9 a 13 de setembro de 2013 – Fortaleza, CE. pp. 58 – 72.
- Sanders G.J., Arndt, S.K. (2012). Osmotic Adjustment Under Drought Conditions. In: Aroca, R. (eds) *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_8
- Salazar, E. Trujillo, I. Perez, N. Castro, L. Vallejo, E. & Torrealba M. (2014). Respuesta fisiológica al estrés hídrico de plantas de banano cv. 'Pineo gigante' (*Musa AAA*) regeneradas a partir de yemas irradiadas. *Biotecnología Vegetal*. 14(3), 155 – 162.
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/72/60>
- Senevirathna, A., Stirling, C., Rodrigo, V. (2008). ACCLIMATION OF PHOTOSYNTHESIS AND GROWTH OF BANANA (*MUSA SP.*) TO

- NATURAL SHADE IN THE HUMID TROPICS. *Expl Agric.* 44: 301–312.
<https://doi.org/10.1017/S0014479708006364>
- Siles, P., Bustamante, O., Valdivia, E., Burkhardt, J. and Staver, C. (2013). Photosynthetic performance of banana ('gros michel', aaa) under a natural shade gradient. *Acta Hortic.* 986, 71-77.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.5>
- Surendar, K., Devi, D., Ravi, I., Jeyakumar, P., & Velayudham, K. (2013A). Studies on the impact of water deficit on morphological, physiological and yield of banana (*Musa* spp.) cultivars and hybrids. *International Journal of Agricultural Sciences.* 3 (4), 473-482.
- Surendar, K., Devi, D., Ravi, I., Jeyakumar, P., & Velayudham, K. (2013B). Water Stress Affects Plant Relative Water Content, Soluble Protein, Total Chlorophyll Content and Yield of Ratoon Banana. *International Journal of Horticulture.* 3(17), 96-103.
- Surendar, K., Devi, D., Ravi, I., Jeyakumar, P., & Velayudham, K. (2013C). Impact of water deficit on growth attributes and yields of banana cultivars and hybrids. *African Journal of Agricultural Research.* 8(48), 6116-6125.
- Taulya, G., van Asten, P., Leffelaar, P., & Giller, K. (2014). Phenological development of East African highland banana involves trade-offs between physiological age and chronological age. *Europ. J. Agronomy.* 60, 41–53.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.07.006>
- Vargas, A. (2015). Evaluación de cultivares y materiales de siembra en plátanos del tipo falso cuerno bajo un manejo intensivo de plantación. *Cultivos Tropicales,* 36(2), 72-82.
- Zambrano, E., Rivadeneira, J., & Pérez, M. (2018). Linking El Niño Southern Oscillation for early drought detection in tropical climates: *The Ecuadorian coast.* *Science of the Total Environment* 643, 193–207.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.160>

ANEXOS



Anexo 1: PLANTULAS



Anexo 2: Rizomas



Anexo 3: Preparacion del terreno



Anexo 4: Balizada del terreno



Anexo 5: Hecha de huecos para la siembra



Anexo 6: Peso de hidrogel a hidratar



Anexo 7: Hidratacion de hidrogel



Anexo 8: Siembra del plátano con las respetivas dosis de hidrogel



Anexo 9: Toma de datos