

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO
SEDE ATLÁNTICA



INGENIERÍA AGRONÓMICA

Proyecto de Trabajo Final de Carrera:

“Evaluación en diferentes condiciones de germinación y crecimiento inicial de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench)

Estudiante: Aldana Janet Keil

Directora: Dra. María Fany Zubillaga

Año: 2020

A mis padres, Rubén y Claudia.

A mi hermano Nicolás.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Río Negro por darme la oportunidad de estudiar y convertirme en una profesional.

Al Consejo Interuniversitario Nacional por la beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas otorgada en el año 2019 que facilitó el desarrollo de las actividades de este trabajo.

A mi directora de tesis, María Fany Zubillaga, por su paciencia y dedicación.

A Sergio Quichán, por su colaboración en la realización de muestreos y análisis, así como también a Simón Martínez quien aportó sus conocimientos para la planificación del ensayo de frecuencias de riego.

Al laboratorio de investigación N°3, Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Biotecnología de la Universidad Nacional de Río Negro por facilitar el equipamiento necesario para llevar a cabo este trabajo.

A Mariela Fioretti y Sandra Baioni de fisiología vegetal de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca) por permitirnos la utilización del osmómetro.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres, por la su ayuda incondicional, la motivación y confianza brindada durante estos años. Sin ellos no hubiera sido posible este logro.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	6
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	10
<u>Descripción de la especie</u>	12
Aspectos nutricionales	13
Utilización	13
Requerimientos medioambientales.....	14
HIPÓTESIS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
METODOLOGÍA	18
1- Ensayos de germinación	18
Optimización del protocolo de germinación.....	18
I. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas	19
II. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de	
estrés salino	19
III. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de	
estrés hídrico simuladas con polietilenglicol (PEG 6000)	20
IV. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades	
de siembra.....	21
2- Ensayo en plántulas	22
I. Respuesta al estrés hídrico en plántulas de trigo sarraceno.....	22
Análisis estadístico	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
1. Ensayos de germinación	24
I. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas	24
II. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de	
estrés salino	26
III. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de	
estrés hídrico	31
IV. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades	
de siembra.....	35

2. Ensayo en plántulas	40
I. Respuesta al estrés hídrico en plántulas de trigo sarraceno	40
CONCLUSIONES	49
ANEXO	51
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de tablas

Tabla 1: Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas.	25
Tabla 2: Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés salino.	27
Tabla 3: Respuesta germinativa del trigo sarraceno frente a diferentes grados de estrés hídrico simulados con PEG.	32
Tabla 4: Humedad gravimétrica del suelo (%) asociada a las frecuencias de riego.	41
Tabla 5: Respuesta de plántulas de trigo sarraceno a diferentes frecuencias de riego.	41
Tabla 6: Respuesta de plántulas de trigo sarraceno a diferentes momentos de muestreo en condiciones de distintas frecuencias de riego.	42
Tabla 7: Contenido de clorofilas y xantofilas en función del momento y de la frecuencia de riego.	45

Índice de figuras

Figura 1: <i>Fagopyrum esculentum</i> a) planta en floración b) cultivo en inicio de madurez fisiológica c) fruto (aquenio) luego de la trilla.	12
Figura 2: Respuesta germinativa de trigo sarraceno a 30 °C de temperatura.	26
Figura 3: Longitud total de raíz en función de las diferentes concentraciones salinas evaluadas.	29
Figura 4: Respuesta de la longitud diaria de radícula para las diferentes concentraciones salinas evaluadas.	29
Figura 5: Efecto de la concentración salina de 0,25 M sobre el crecimiento longitudinal de raíces.	31
Figura 6: Longitud total de raíces al finalizar el experimento para las diferentes condiciones de estrés evaluadas.	34

Figura 7: Respuesta de la longitud diaria de radícula de trigo sarraceno en diferentes grados de estrés hídrico simulados con PEG.....	34
Figura 8: Emergencia de plántulas de trigo sarraceno en función de la profundidad de siembra..	36
Figura 9: Respuesta del contenido de materia seca para las secciones de tallo y raíz en función de la profundidad de siembra.....	38
Figura 10: Crecimiento de plántulas en función de la profundidad de siembra.	38
Figura 11: Respuesta de parámetros morfométricos asociados a las diferentes frecuencias de riego evaluadas.....	43
Figura 12: Relación ca/cb en función del momento de muestreo y de la frecuencia de riego estudiada..	46

RESUMEN

El trigo sarraceno, pseudocereal valorado por la ausencia de gluten en sus granos y por su importante composición nutricional, ha sido evaluado en el Valle Inferior de Río Negro (VIRN) con resultados satisfactorios de adaptabilidad a las condiciones medioambientales del sitio. Dada la escasa información que antecede el presente trabajo, se orientó la investigación a las primeras etapas de crecimiento de trigo sarraceno bajo diferentes condiciones ambientales generadas en laboratorio.

Se desarrollaron cinco ensayos. Cuatro de ellos en la etapa de germinación, donde se evaluó la respuesta de la semilla a la variación de temperatura, al estrés salino e hídrico y a la profundidad de siembra. El último ensayo, se realizó en estadio de plántula y se estudió la respuesta del cultivo frente a diferentes frecuencias de riego. Al evaluar diferentes tipos de estrés en estadios iniciales del cultivo se buscó recabar información útil para situaciones posibles de hallar en el VIRN. En él, existe variabilidad de suelos, es factible encontrar sitios con salinidad y, a pesar de disponer de un recurso hídrico de calidad es necesario un uso eficiente del mismo.

Entre los resultados más destacados podemos mencionar que el cultivo presenta altos porcentajes de germinación en un rango de temperaturas entre 15 y 35 °C. El óptimo germinativo se identificó en 30 °C.

En relación al estrés salino conforme se incrementó la concentración de cloruro de sodio en el medio de germinación disminuyó la capacidad y la energía germinativa de las mismas. Así mismo, es importante destacar la tolerancia al estrés salino observada dado que, se hallaron porcentajes de germinación de hasta el 80% con concentraciones de 0,25 M.

En lo que respecta al estrés hídrico durante la germinación, simulado con polietilenglicol (PEG), se observó una disminución del porcentaje de germinación a partir de potenciales hídricos menores a -0,5 MPa.

La profundidad de siembra resultó relevante en el establecimiento de las plántulas de un cultivo. Para el tipo de suelo utilizado en este trabajo se identificó la profundidad de 2 cm como la óptima para la siembra de este cultivo. En general, variables tales como: altura de planta, longitud y materia seca de raíces se redujeron al incrementar la profundidad de siembra.

En el ensayo de frecuencias de riego en plántulas se observó que riegos más espaciados en el tiempo presentaron la tendencia a reducir variables morfométricas (altura, longitud de raíz, número de hojas y área foliar). Bajo las condiciones experimentales, se identificó un periodo óptimo de 4 días entre riegos.

La información hallada en estos experimentos se considera relevante para lograr un óptimo establecimiento del cultivo e incluso interpretar el efecto de las condiciones medioambientales sobre los primeros estadios de crecimiento. Estos resultados aportan referencias a nivel local y experimental donde se evidenció la falta de información relacionada al cultivo de trigo sarraceno.

Palabras claves: estrés hídrico, estrés salino, temperatura, profundidad de siembra, variables morfométricas.

ABSTRACT

Buckwheat, pseudocereal wheat valued for the absence of gluten in its grains and for its important nutritional composition, has been evaluated in the Lower Valley of Río Negro (VIRN) with satisfactory results of adaptability to the environmental conditions of the site. Given the limited information that precedes this work guide the research to the early stages of buckwheat growth under different laboratory-generated environmental conditions.

Five trials were developed. Four of them are in the germination stage, where the response of the seed to temperature variation, saline and water stress, and planting depth were evaluated. The last trial was carried out at the seedling stage and the response of the crop to different irrigation frequencies was studied. When evaluating different types of stress in the initial stages of the crop, we sought to gather useful information for possible situations to be found in the VIRN. In it, there is variability of soils, it is feasible to find sites with salinity and, a weight to contain of a quality water resource, an efficient use of it is necessary.

Among the most outstanding results we can include the cultivation presenting germination percentages in a temperature range between 15 and 35 ° C. The optimum germination was identified at 30 ° C.

In relation to saline stress, as the concentration of sodium chloride in the germination medium increased, their capacity and germination energy decreased. Likewise, it is important to highlight the tolerance to saline stress observed since, germination percentages of up to 80% were found with concentrations of 0.25 M.

With regard to water stress during germination, simulated with polyethylene glycol, a decrease in the percentage of germination was observed from water potentials below -0.5 MPa.

The planting depth was relevant in establishing the seedlings of a crop. For the type of soil used in this work, the depth of 2 cm was identified as the optimum for sowing this crop. In general, variables such as: plant height, length and root dry matter were reduced with increasing planting depth.

In the seedling irrigation frequency test, it was observed that more time-spaced irrigation showed a tendency to reduce morphometric variables (height,

root length, number of leaves and leaf area). Under the experimental conditions, an optimal period of 4 days between irrigations was identified.

The information found in these experiments is considered relevant to achieve optimal crop establishment and even interpret the effect of environmental conditions on the first stages of growth. These results provide references at the local and experimental level where the lack of information related to the cultivation of buckwheat was evidenced.

Keywords: water stress, saline stress, temperature, planting depth, morphometric variables.

INTRODUCCIÓN

Fagopyrum esculentum, alforfón o trigo sarraceno es una planta anual herbácea de la familia de las Poligonáceas cultivada por sus granos para consumo humano y animal. Es un pseudocereal con características similares a la de los cereales verdaderos pero no pertenece a la familia de las gramíneas. Su origen es Asia Central, aunque se ha cultivado tradicionalmente en muchos países. En la actualidad, los principales países productores son también los mayores consumidores. China produce el 55% del total mundial, seguido por Rusia (20%), Ucrania (15%) y Polonia (3%). Además Estados Unidos y Canadá son grandes productores de dicho cultivo (Myers & Meinke, 1994).

En Argentina este cultivo se ha sembrado en pequeñas extensiones en la región de Córdoba para trabajos de investigación (Dionisi, 2012).

Las formas de consumo de este pseudocereal son diversas, entre ellas se destacan: harina, semillas enteras y brotes. Las hojas se consumen frescas como vegetal o secas para preparar té (Körber & Grohne, 1987). La harina posee mayor contenido proteico y superior valor biológico que la del trigo y el arroz debido a la mayor proporción de los aminoácidos lisina y arginina (Ratan & Kothiyal, 2011; Zhang *et al.*, 2012). Es importante destacar que la harina de alforfón carece de gluten por lo que puede ser consumida por personas con celiaquía (Alvarez Jubete *et al.*, 2010; Kaur *et al.*, 2015). La planta también se utiliza tradicionalmente para tratar la hipertensión, la diabetes, la periodontitis y el sangrado de las encías (Campbell, 1997).

En lo que respecta a posibles sitios productivos en Argentina se destacan seis sub-zonas basadas en las regiones trigueras que abarcan desde el centro norte de Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires, Entre Ríos, y Corrientes. Así mismo, se menciona como sitios factibles los valles pre cordilleranos de Neuquén, Río Negro y el sur de la provincia de Buenos Aires (Dionisi, 2012).

En el VIRN, las primeras experiencias del cultivo fueron llevadas a cabo durante el año 2016 con resultados alentadores en relación a la adaptabilidad y productividad de la especie que incentivaron la posterior investigación. En el año 2018, a través del proyecto “Producción y tecnología de alimentos de trigo sarraceno” se realizaron los primeros ensayos experimentales formales para la zona. En el cual se evaluaron diferentes fechas de siembra, densidades de

plantas y dosis de fertilización nitrogenada. Los resultados obtenidos indicaron como fecha óptima de siembra fines de noviembre, con densidades promedios entre 7 y 10 plantas por metro lineal y dosis de nitrógeno de 150 kg ha⁻¹ para alcanzar rendimientos superiores a 4500 kg ha⁻¹.

Entre las actividades productivas más destacadas del VIRN podemos mencionar, el cultivo de forrajeras en primer lugar, seguido por la producción frutícola, de cereales y de hortalizas. Esta gran diversidad de producciones puede llevarse a cabo debido a las condiciones ambientales, a la disponibilidad del recurso hídrico de calidad, a los sistemas de distribución de agua y a la gran variabilidad de series de suelo con diferentes clases texturales presentes en la zona (Masotta, 1970; Alder, 2010; Seba *et al.*, 2017). Entre los suelos más representativos se encuentra la serie “chacra” (especificaciones físico –químicas en anexo) de textura arcillosa a franco arcillo limosa, con drenaje imperfecto a moderado y con presencia de sales solubles en cantidades no peligrosas hasta 60 cm de profundidad. A pesar de ello, dentro de esta serie se han hallado suelos salinizados en los horizontes superficiales asociados a estados de erosión (Masotta, 1970). Con respecto al agua de riego, el Río Negro tiene un módulo de 930 m³ s⁻¹ y un área bajo riego que supera las 100.000 ha (FAO, 2014). En la provincia existe un potencial de nuevas tierras que permitiría ampliar la superficie bajo riego. A pesar de ello, la implementación de la práctica de riego ha disminuido mundialmente en las últimas décadas, estimándose en la actualidad una expansión de alrededor del 1% anual. La razón de ello según Rhoades (1997) sería la combinación de varios factores, entre ellos, su alto costo, su manejo ineficiente y la degradación de los recursos naturales suelo y agua. Otra posible causa es el inadecuado manejo del riego (UNEP, 1992).

Por otra parte, Vincent *et al.* (2006) afirman que la salinidad de los suelos se encuentra presente en la mayoría de los esquemas de riego alrededor del mundo. Este efecto se encuentra representado de manera conjunta por la baja calidad del agua de riego, la aridez y falta de drenaje natural de los suelos y acuíferos (Quichán *et al.*, 2013).

La demostrada adaptación del cultivo de trigo sarraceno a la zona del VIRN con rendimientos y características sanitarias prometedoras lo vislumbra como una posible actividad de diversificación productiva innovadora para este valle. Sin embargo, la variabilidad de suelos disponibles en la zona, los

problemas de salinidad presentes y la necesidad de un manejo eficiente de los recursos hídricos actúan como disparadores de puntos de investigación. A pesar de los conocidos efectos que genera la presencia de sales y el déficit hídrico en el desarrollo de las plantas poca información se encuentra disponible para el cultivo de alforfón.

Descripción de la especie

El trigo sarraceno, es una planta herbácea anual (Figura 1 b) de la familia de las Poligonáceas. Su nombre científico es *Fagopyrum esculentum* Moench y se cultiva durante la temporada estival. Posee un tallo erguido, articulado y hueco, bastante ramificado, con una coloración rojiza de 20 a 80 cm de alto. Su sistema radicular es alorrizo, poco profundo. Las hojas son acorazonadas, alternas, sagitadas, terminadas en punta aguda, las de la base con ocreas notables. Las superiores son abrazadoras o sésiles mientras que las inferiores tienen un peciolo largo. Las flores son de color blanco o rosa (Figura 1 a), pequeñas, agrupadas en racimos cortos y apretados al final de las ramas (Dionisi, 2012). El fruto (Figura 1 c) es un aquenio trígono, de 4 a 6 mm de longitud por 2 a 3 mm de ancho, con pericarpio leñoso de color marrón, que contiene una sola semilla de tamaño algo más pequeño que el fruto.



Figura 1: *Fagopyrum esculentum* a) planta en floración b) cultivo en inicio de madurez fisiológica c) fruto (aquenio) luego de la trilla.

El periodo de floración se extiende entre 1 y 3 meses con presencia de un gran número de flores abiertas en simultáneo por planta y por día. Como

consecuencia de ello, en el momento de fructificación conviven en las plantas semillas e inflorescencias en todas las etapas de maduración. Por este motivo el momento apropiado para la cosecha es difícil de determinar (Funatsuki *et al.*, 2000).

Durante el período de floración, las temperaturas influyen desarrollo y fertilidad de las estructuras reproductivas (Björkman 2000). Altas temperaturas (30 ° C) y vientos secos son perjudiciales, causan el marchitamiento de las flores, el aborto de estructuras reproductivas y saco embrionarios con malformaciones (Guan & Adachi 1992).

Aspectos nutricionales

El grano del trigo sarraceno es rico en aminoácidos esenciales, destacándose la lisina que se presenta en baja proporción en los cereales tradicionales. Posee un alto valor proteico, equivalente al de la leche descremada o al de la yema de huevo (Coyoy, 2012). Entre los granos del mundo es el único que posee vitamina P o rutina, que se extrae principalmente de las hojas, flores y de su harina. Contiene vitaminas de un alto valor biológico, superiores a las del arroz integral (B1, B2, B3 y E); a su vez aporta fosfolípidos, ácidos grasos, omega 6 y minerales tales como magnesio, potasio, hierro, fósforo, calcio, sodio, azufre, cloro, yodo y manganeso (Napoli, 1994). Otra característica importante de este grano es la ausencia de gluten debido a que sus principales proteínas son las globulinas y albúminas. El alimento que se obtiene es sumamente nutritivo y energético.

Utilización

El trigo sarraceno se utiliza con fines alimenticios en la industria de panificación, elaboración de pastas, además de consumirse como grano en diferentes comidas. Con su cáscara se realizan almohadas terapéuticas reconocidas por favorecer la descarga de tensiones y colaborar en un mejor descanso. En cuanto a los fines agropecuarios se utiliza en alimentación animal y es un excelente recurso floral para la producción apícola (Dionisi, 2013).

Requerimientos medioambientales

El proceso de germinación está principalmente regulado por varios factores ambientales, como la luz, temperatura y humedad (Azcón Bieto & Talon, 2013). La temperatura está frecuentemente asociada con el proceso de germinación por afectar el porcentaje de germinación, la tasa diaria de germinación, la tasa de absorción de agua, la velocidad de las reacciones enzimáticas y el transporte de las sustancias de reserva (Probert, 2000).

Según las normas ISTA (International Seed Testing Association), la temperatura adecuada de germinación del trigo sarraceno, se encuentra en el rango de 20-30 °C.

La semilla tiene que disponer de agua para poder germinar. El agua es el factor ambiental más limitante para la germinación y debe estar disponible en una cantidad adecuada, ya que tanto su exceso como su defecto traen consecuencias negativas para este proceso (De la Cuadra, 1993). Para el trigo sarraceno se menciona que no tolera condiciones estresantes o de suelos mal preparados. Sus finas raíces penetran el suelo rápidamente pero no se adaptan a suelos con compactación, inundaciones o sequías (Jung *et al.*, 2015)

El medio salino produce retraso en la germinación y afecta el crecimiento de las plantas, a la vez que provoca una reducción del rendimiento en grano y de la producción de materia seca (Pérez *et al.*, 1990; Jacobsen & Bach, 1998). Concentraciones reducidas producen disminución de la velocidad de germinación, y altas concentraciones la inhiben completamente (González & Prado, 1992). Para el trigo sarraceno se mencionan reducciones en el desarrollo de brotes al germinar las semillas con concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) mayores a 50 mM. Sin embargo, este tratamiento mejora la calidad nutricional de los mismos (Lim *et al.*, 2012). Otros autores, con adición de 100 mM de NaCl a una solución hidropónica encontraron tolerancia de esta especie con reducciones en el crecimiento de las plántulas y acumulación de sal en tallo y raíz y (Hiroyuki *et al.*, 2005).

Otros factores como la profundidad de siembra de la semilla también afectan a la germinación de las mismas y la emergencia de plántulas (Koger *et al.*, 2004) dado que la variación en profundidad está asociada a cambios en disponibilidad de agua, fluctuaciones diurnas de temperatura y exposición de luz.

A nivel de micro-ambiente, todos estos factores tienen potencial para influir en el comportamiento de las semillas (Vázquez, 2011). El tamaño de la semilla es importante a la hora de definir la profundidad de siembra. Las plántulas que se desarrollan a partir de semillas de mayor tamaño presentan un desarrollo radicular mayor y más rápido. Además, estas plántulas son capaces de emerger desde profundidades mayores, lo que les puede facilitar una mayor proximidad al agua disponible en el suelo. No obstante, si la profundidad a la que se encuentra la semilla es demasiado grande, la plántula puede no ser capaz de emerger (Villamil & García, 1998). Para el trigo sarraceno no se halló información bibliográfica relacionada a profundidades de siembra efectivas sin embargo, por tratarse de una especie endospermática de tamaño medio (4-6 mm de longitud por 2-3 mm de ancho) con germinación epigea (Bewley & Black, 1994), se recomiendan siembras superficiales.

La producción de biomasa vegetal de cualquier cultivo está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo. En el transcurso del ciclo de crecimiento de una planta, el estado hídrico de la misma depende del balance entre el agua que la planta absorbe del suelo y su pérdida por transpiración. Un exceso de esta última con respecto a la absorción determina un balance hídrico negativo, generándose una situación de déficit cuyas consecuencias dependerán de su magnitud, duración y del estadio de desarrollo de la planta (Salisbury & Ross, 1994; Montaldi, 1995). En este sentido, el estadio de plántula se caracteriza por ser un momento particularmente sensible (o insensible) a un estrés determinado (Valladares *et al.*, 2004). De este modo, el agua puede influir de forma sustancial sobre el crecimiento y la producción de materia seca de las plantas, y por ende sobre su rendimiento. Las plantas poseen mecanismos capaces, dentro de ciertos límites, de regular la tasa de absorción, de transpiración y consecuentemente, el balance hídrico. Entre los mecanismos estudiados se describen el grado de apertura del poro estomático, el grado de expansión foliar, senescencia y abscisión de hojas y cambios en la relación área foliar/extensión de raíces entre otros (Salisbury & Ross, 1994; Montaldi, 1995).

El estrés ocasionado por déficit hídrico es uno de los más adversos para el crecimiento y productividad de las plantas. Las plantas utilizan diferentes estrategias para sobrellevar el estrés hídrico, entre ellas: escape, evitación y tolerancia. El escape se manifiesta en ambientes donde hay estaciones del año

siempre secas (sequía previsible), las plantas minimizan el efecto adverso creciendo y completando su ciclo durante el periodo con buena disponibilidad de agua, de esta manera, cuando sobreviene la sequía ya habrán desarrollado semillas. Es decir, pasan la estación seca en forma de semillas y no sufren lesiones por desecación. Una adaptación, menos extrema, se ha observado en muchas plantas de cultivo, en las que los cultivares más resistentes a la sequía son frecuentemente los que primero florecen y maduran, evitándose así lo peor de la estación seca. Muchas de estas especies anuales adelantan la floración si se las somete prematuramente a un déficit hídrico. En la evitación, las plantas tratan de disminuir la pérdida de agua o aumentan la absorción de la misma. En la tolerancia, las plantas implementan diferentes mecanismos que permitan mantener la actividad fisiológica a medida que el contenido o el potencial hídrico disminuye (Golberg *et al.*, 2011; Azcón Bieto & Talón, 2013).

Los requerimientos de agua del trigo sarraceno son altos (Lakhanov, 1991; Gang & Yu 1998). Las plantas de esta especie se marchitan rápidamente bajo condiciones de sequía debido a la particularidad de su sistema de raíces, el cual es poco profundo (Campbell, 1997). A pesar de ello, la rehidratación ocurre velozmente cuando se restablecen las condiciones normales de agua (Delpérée *et al.*, 2003). La falta de agua durante la fase vegetativa del cultivo, se considera menos perjudicial que cuando ésta ocurre durante la fase reproductiva (Cawoy *et al.*, 2006). Esto se debe a que la escasez de agua durante el período de floración perjudica el desarrollo del endosperma y puede inducir abortos embrionarios que se reflejan en disminuciones en el rendimiento de hasta el 50% (Kalinová *et al.*, 2002; Jacquemart *et al.*, 2012). El exceso de agua, ya sea por inundación o saturación también es perjudicial para el rendimiento del trigo sarraceno (Sakata & Ohsawa, 2005).

HIPÓTESIS

La respuesta fisiológica del trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) en los primeros estadios fenológicos, está limitada por umbrales de temperatura, profundidad de siembra y condiciones de estrés salino e hídrico que determinarán el éxito de implantación del cultivo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta germinativa y el crecimiento de plántulas de *Fagopyrum esculentum* bajo diferentes condiciones ambientales generadas en laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Evaluar el efecto de la temperatura en la germinación de *Fagopyrum esculentum*.
- b. Evaluar la respuesta germinativa de la semilla de *Fagopyrum esculentum* en diferentes condiciones de estrés salino.
- c. Evaluar la respuesta germinativa de la semilla de *Fagopyrum esculentum* en diferentes condiciones de estrés hídrico.
- d. Evaluar la respuesta germinativa de la semilla de *Fagopyrum esculentum* en diferentes profundidades de siembra.
- e. Evaluar la respuesta de plántulas de *Fagopyrum esculentum* a diferentes condiciones de estrés hídrico.

METODOLOGÍA

Este trabajo fue realizado en las instalaciones de la Universidad Nacional de Río Negro, en condiciones de laboratorio con control de temperatura, luz y humedad.

Se realizaron cinco ensayos, cuatro de ellos en germinación y uno en el estadio de plántula en la especie *Fagopyrum esculentum*. El material genético utilizado fue obtenido a partir de un cultivo desarrollado en las condiciones medioambientales del VIRN en el ciclo productivo 2018. Las semillas utilizadas en cada ensayo fueron seleccionadas al azar de la muestra disponible.

1- Ensayos de germinación

Optimización del protocolo de germinación.

Para los ensayos de germinación realizados, el protocolo de desinfección fue ajustado en función de diferentes tratamientos previamente evaluados. Se identificó como procedimiento óptimo la desinfección de las semillas con hipoclorito al 1% por 30 minutos y tres enjuagues posteriores con agua destilada por periodos de 15 minutos cada uno. Posteriormente fueron colocadas en cajas de Petri e incubadas en la cámara de germinación en oscuridad, con condiciones de temperatura y humedad controladas.

El criterio de semilla germinada se basó en una longitud de radícula mayor a 1mm.

En todos los ensayos de germinación, los parámetros evaluados fueron:

- Energía germinativa (EG): Porcentaje de germinación acumulada diaria cuando la tasa de germinación fue la más alta (González, 2009).
- Capacidad Germinativa (CG): Porcentaje de germinación total al finalizar el ensayo (Pece, 2010).
- Tiempo Medio de Germinación (TMG): Número promedio de días utilizados en la germinación. Mide la velocidad y la dispersión del proceso (Ranal & García, 2006).

$$TMG = ((X1.d1) + (X2.d2) + \dots + (X12.d12))$$

Donde X1, X2, X12 son semillas en el día d1, d2, d12, y d1, d2, d12 son los días de incubación.

I. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas

Se realizaron ensayos de germinación a diferentes temperaturas en la cámara de germinación ("SAN JOR" serie SL DB) del laboratorio N° 3 de la Universidad de Río Negro. Para ello, se colocaron las semillas trigo sarraceno en cajas de Petri que contenían una capa de algodón sobre la cual se colocaron discos de papel de filtro Whatman 40. El número de semillas utilizadas por caja fue de 20 y se realizaron cinco réplicas por tratamiento. Los distintos tratamientos fueron humedecidos con agua destilada a través de un pulverizador manual de acuerdo a sus necesidades.

Las temperaturas evaluadas fueron: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 y 40°C.

Cada 24 horas, por un periodo de siete días, se realizó el recuento de semillas germinadas.

Se consideró como temperatura óptima aquella en la que las semillas alcanzaron el porcentaje de germinación más alto en el menor tiempo (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1982).

Al finalizar el ensayo, se calcularon los parámetros de EG, CG, TMG según lo descrito anteriormente. Por otra parte, se consideró el índice de velocidad de germinación (IVG) expresado como número de semillas germinadas por día según Maguire (1962), cuya fórmula es:

$$IVG = G_1 + G_2 + \dots + G_i + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i / N_i$$

Donde N_i son los días necesarios para la germinación y G_i el número de semillas germinadas en el día i .

II. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés salino

Para este ensayo se prepararon soluciones salinas de cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones crecientes. Los tratamientos evaluados fueron: 1) Control: H₂O, 2) NaCl 0,05 M, 3) NaCl 0,1 M, 4) NaCl 0,15 M, 5) NaCl 0,2 M, 6) NaCl 0,25 M y 7) NaCl 0,3 M.

Cada tratamiento estuvo representado por cinco cajas de Petri con 20 semillas cada una. Las mismas fueron acondicionadas con algodón y papel absorbente y posteriormente humedecidas con la solución salina correspondiente. Los tratamientos fueron incubados en la cámara de germinación a 25 °C (temperatura intermedia entre el rango propuesto por las normas ISTA (2009)).

Diariamente, durante siete días, se cuantificó el número de semillas germinadas y se calculó el porcentaje de germinación. Por otra parte, en cada tratamiento se seleccionaron al azar tres semillas de cada repetición (n=15) y se midió diariamente la longitud de su radícula. Para ello, cada semilla fue retirada de la caja de Petri y colocada sobre un papel milimetrado para registrar su longitud (mm), a continuación se reponía en la unidad experimental. Transcurrido el periodo del ensayo se determinó la longitud total de radícula (LTR).

Al finalizar el ensayo, se calculó EG, CG, TMG y LTR según fue descrito anteriormente.

III. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés hídrico simuladas con polietilenglicol (PEG 6000)

En este ensayo se utilizó PEG que es un poliéster ampliamente empleado cuyo nombre aparece asociado a un número que hace referencia a la masa molecular. Es inerte, muy soluble en agua, biodegradable y no tóxico (Tolosa, 2013). Aunque no penetra en los tejidos, el PEG provoca descensos en el potencial osmótico, que generan estrés de forma similar a la desecación del sustrato en el que se cultivan las plantas (Larher *et al.*, 1993).

En este experimento, a partir de una solución stock de PEG se prepararon las diluciones correspondientes a los siguientes tratamientos expresados en potencial osmótico (ψ_{π}): a) control: ψ_{π} 0 MPa; b) ψ_{π} : -0,5 MPa; c) ψ_{π} : -0,79 MPa; d) ψ_{π} : -1,24 MPa; e) ψ_{π} : -2,27 MPa; f) ψ_{π} : -3,45 MPa; g) ψ_{π} : -3,55 MPa según Michel & Kaufmann (1973). Estos valores fueron corroborados con un osmómetro VAPRO 5520 (Vapor Pressure Osmometer).

Para cada tratamiento se prepararon seis cajas de Petri con algodón y papel absorbente y se humedecieron con la solución de PEG correspondiente. En cada una de ellas se colocaron 15 semillas.

Los tratamientos fueron incubados en la cámara de germinación a 25 °C (temperatura intermedia entre el rango propuesto por las normas ISTA (2009)).

Diariamente, por un período de siete días, se consideró el número de semillas germinadas y se calculó al final del experimento el porcentaje de germinación total para cada tratamiento. Por otra parte, en cada tratamiento se seleccionaron al azar tres semillas de cada repetición y se midió diariamente la longitud de su radícula sobre papel milimetrado.

Al finalizar el ensayo, se calculó EG, CG, TMG y LTR según fue descripto anteriormente.

IV. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades de siembra

En este ensayo se utilizó un suelo representativo del VIRN, perteneciente a la serie Chacra con las siguientes características físico-químicas: pH: 8,38, conductividad eléctrica: 0,43 (mS/cm), relación de adsorción de sodio: 1, fósforo: 12,1 mg/kg, materia orgánica: 3,28 g/100gr y nitrógeno total 0,25 g/100gr.

El suelo fue tamizado y colocado en bandejas multiceldas (27x27x9cm). Las profundidades de siembra evaluadas fueron: a) 0,5 cm, b) 1,0 cm, c) 2,0 cm, d) 4,0 cm, e) 6,0 cm. Cada profundidad contó con un total de 30 semillas.

Para realizar la siembra se utilizó una varilla marcada con la profundidad deseada. Con la misma, se realizaron pequeños hoyos en el suelo de la bandeja y se colocaron individualmente las semillas con una pinza. Las bandejas fueron colocadas en invernadero a temperatura variable dentro del rango considerado como óptimo (20-30 °C) según las normas ISTA (2009), bajo condiciones de luz natural y con adecuada provisión de agua en el suelo.

Diariamente, por un período de diez días, se verificaron los parámetros ambientales mencionados así como, la emergencia de plántulas por maceta para cada profundidad. Se registró la emergencia de plantas y de variables morfológicas (altura promedio, número de hojas y diámetro de tallo) asociadas a cinco ejemplares seleccionados al azar de cada tratamiento. Por otra parte, se

realizó la determinación de biomasa fresca y seca de las partes aérea y radicular de cuatro ejemplares de cada tratamiento.

2- Ensayo en plántulas

I. Respuesta al estrés hídrico en plántulas de trigo sarraceno

Para la realización de este ensayo se utilizó un suelo representativo del VIRN perteneciente a la serie Chacra, caracterizado en el ensayo IV: “Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades de siembra”.

Se evaluaron cuatro tratamientos basados en diferentes frecuencias de riego (F1: dos días, F2: cuatro días, F3: ocho días y F4: 16 días) con un volumen de agua fijo de 100 mm que aseguraba la condición de capacidad de campo del suelo.

El suelo, previamente tamizado se colocó en macetas de 100 cc y cada tratamiento fue representado por 20 macetas con dos plantas cada una (n: 40). Los tratamientos correspondientes fueron aplicados cuando las plántulas presentaban dos hojas verdaderas. En cada tratamiento, una vez iniciado el ensayo, se registró el volumen de agua drenada (percolación profunda). Para ello, las macetas se colocaron individualmente sobre recipientes y luego del riego (24 hs) se recolectó y midió el volumen de agua percolada.

Todas las semanas (expresadas en el análisis estadístico como momento 1, 2, 3, 4 y correspondientes a periodos de tiempo de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente) se extrajeron cinco macetas de cada tratamiento con el objeto de evaluar distintos parámetros morfométricos (altura de planta, número de hojas, longitud de raíz y biomasa) y fisiológicos (contenido de clorofilas, área foliar y contenido relativo de agua) durante el transcurso del experimento (aproximadamente 30 días).

Metodología de evaluación de parámetros morfofisiológicos:

- Altura de planta (cm): mediante la utilización de una regla se registró la longitud existente desde la base del tallo al extremo apical de la plántula.
- Número de hojas: se realizó el recuento de las hojas verdaderas presentes en cada plántula.
- Área foliar: se determinó a través de una aplicación telefónica denominada: BioLeaf (2016) - Foliar Analysis.
- Longitud de raíz (cm): mediante la utilización de una regla se registró la longitud existente desde la base del tallo al extremo apical de la raíz.
- Biomasa en fresco o peso fresco (Pf) de planta: se determinó mediante el pesado en balanza de precisión de la plántula luego de ser extraída del suelo y de haber eliminado la mayor parte del mismo.
- Biomasa en estado turgente o peso turgente (Pt) de planta: de cada tratamiento se eligieron al azar tres plantas (n=3). Una vez registrado el peso fresco de la planta, la misma fue colocada en un recipiente con agua (cubierta en su totalidad) y colocada en heladera por 24 hs. Transcurrido este lapso se extrajo del agua, se escurrió el exceso con papel absorbente sin presionar y fue pesada nuevamente. Este valor se registró como Pt.
- Biomasa en seco o peso seco (Ps) de planta: cada plántula pesada anteriormente fue colocada en estufa a 65 °C hasta peso constante, este valor fue registrado como Ps.
- Contenido relativo de agua (CRA): se determinó en base a aquellas plantas (n=3) seleccionadas en la determinación de biomasa en estado turgente (Pt) según la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = (\text{Pf} - \text{Ps} / \text{Pt} - \text{Ps}) * 100 \text{ (Salisbury, 1994)}$$

Donde Pf: peso fresco, Pt: peso turgente, Ps: peso seco.

- Contenido de clorofilas: se siguió el procedimiento descrito por Sumanta *et al.* (2014) con la utilización de alcohol como solvente.

Análisis estadístico

En todos los ensayos se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. En cada variable - respuesta se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Para detectar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, los datos fueron sujetos a la Prueba de Fisher (DMS) para comparar las medias con un nivel de significancia del 5%. En los casos donde no se cumplió alguno de los supuestos estadísticos (normalidad/homocedasticidad) se realizó la transformación de los datos a Arc sen \sqrt{x} y se realizó el ANOVA y la prueba de Fisher correspondiente. Las tablas y figuras muestran los datos no transformados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Ensayos de germinación

I. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas

La humedad y la temperatura son factores determinantes del proceso germinativo. Cuando la humedad no es limitante, tanto la tasa como el porcentaje de germinación son controlados por la temperatura (Heydecker, 1977). Para cada especie existe un intervalo de temperaturas dentro del cual el proceso de germinación puede completarse en un tiempo razonable. A los fines prácticos es relevante identificar dicho intervalo y las temperaturas cardinales de germinación (mínima, óptima y máxima). La temperatura óptima tiene en cuenta tanto el porcentaje de semillas germinadas como la velocidad de germinación de las mismas (Mayer & Poljakoff – Mayber, 1975); (Popinigis, 1985)

En la Tabla 1 se muestra la respuesta germinativa del trigo sarraceno a las distintas temperaturas evaluadas. En las temperaturas de 5, 10, y 40 °C no se observó germinación para esta especie.

Tabla 1: Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas.

T°	CG (%)	EG (%)	TMG (días)	IVG
5°	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,00 e
10°	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,00 e
15°	95,00 ± 3,53 a	99,88 ± 0,22a	4,93 ± 0,83a	6,82 ± 0,36d
20°	96,00 ± 6,51 a	99,88 ± 0,15 a	2,18 ± 0,08 b	14,04 ± 1,81 b
25°	93,00 ± 2,74 a	99,88 ± 0,20 a	2,57 ± 0,08 b	14,06 ± 4,25 b
30°	93,00 ± 2,73 a	100,00 ± 0,05 a	1,22 ± 0,08c	17,60 ± 0,74 a
35°	68,00 ± 2,73 b	68,98 ± 0,09 c	1,70 ± 0,08 c	11,43 ± 0,49 c
40°	0,00 c	0,00 d	0,00 d	0,00 d

CG: Capacidad germinativa; EG: Energía germinativa; TMG: Tiempo medio de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación. Valores dentro de una columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

Las variables CG y EG no presentaron diferencias estadísticas en el rango de temperaturas evaluadas entre 15 y 30 °C. El TMG se redujo con el incremento de la temperatura y alcanzó los menores valores en 30-35 °C. El IVG incrementó hasta los 30 °C. A los 35 °C se observó una reducción de esta variable lo que podría relacionarse a un menor porcentaje de germinación posiblemente asociado a la heterogeneidad del lote de semillas, elección al azar de las mismas, y/o semillas no viables.

De los resultados obtenidos se observó que la mejor respuesta germinativa del trigo sarraceno se encontró en la temperatura de 30 °C (Figura 2). Esta temperatura podría ser considerada como óptima para la especie debido a que en ella se obtuvo la mayor CG y EG en menor TMG y con un mayor IVG respecto del resto de las temperaturas evaluadas. Los resultados hallados en este ensayo coinciden con los reportados por Horbowicz & Obendorf (2005) en condiciones similares a las de este trabajo para esta misma especie. Así mismo, confirman lo propuesto por las normas ISTA (2009) donde el trigo sarraceno tiene un rango óptimo de germinación entre 20-30 °C.



Figura 2: Respuesta germinativa de trigo sarraceno a 30°C de temperatura.

Es importante destacar que este cultivo tiene la capacidad de germinar aun en temperaturas de 15 y 35 °C. En este sentido, Singh & Mall, (1977) mencionan que esta especie germina en un rango de temperaturas entre 10 y 50 °C, con el mayor porcentaje de germinación en 28 °C. Sin embargo, el mayor IVG fue registrado en 35 °C. El rango de temperaturas mencionado por estos autores es superior al hallado en este trabajo, lo cual podría deberse al origen de las semillas y/o a las condiciones medioambientales donde se desarrolló el material. En este trabajo el material genético utilizado provino de ensayos experimentales realizados en las condiciones medioambientales del VIRN. Los estadios de floración, cuajado de frutos y madurez fisiológica se extienden desde enero hasta abril. En este periodo las temperaturas máximas medias varían entre 29 y 21°C y las mínimas entre 14 y 7,8 °C. Estos valores podrían delimitar el rango de temperaturas de germinación hallado en esta experiencia bajo condiciones controladas de laboratorio.

II. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés salino

En condiciones de presencia de sales en el suelo y/o en el agua de riego, muchas plantas son afectadas por un desbalance nutricional, cambios metabólicos y en la actividad enzimática, un desequilibrio en los niveles hormonales, estrés osmótico, deficiencia hídrica y estrés oxidativo. Todos ellos afectan el crecimiento de las mismas, la expansión de la superficie de las hojas y el metabolismo primario del carbono (Shalhevet & Hsiao, 1986; Ahmad & Bano,

1994; Khan & Rizvi, 1994; Parida & Das, 2005). En este sentido, la germinación ha sido generalmente considerada como la etapa más sensible a la salinidad en el ciclo de vida de una planta (Ashraf & Wahid, 2000).

En este ensayo, las semillas de *Fagopyrum esculentum* mostraron una disminución en la CG cuando la concentración de NaCl fue superior a 0,05 M. Sin embargo, no se hallaron diferencias entre el control y la concentración de 0,05 M (Tabla 2). La EG tendió a reducirse con el incremento de la concentración salina, a pesar de ello, no se hallaron diferencias entre el control y los tratamientos de 0,05 y 0,10 M.

Tabla 2: Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés salino.

NaCl [M]	CG (%)	EG (%)	TMG (%)	LTR (cm)
0	100,00 ± 0,00 a	99,93 ± 0,04 a	1,60 ± 0,12 d	20,19 ± 1,56 a
0,05	100,00 ± 0,00 a	99,97 ± 0,08 a	2,83 ± 1,72 b	15,69 ± 1,00 b
0,10	88,00 ± 9,51 b	99,84 ± 0,08 a	2,16 ± 0,74 bc	8,58 ± 0,46 c
0,15	90,00 ± 6,12 b	94,88 ± 0,08 b	1,89 ± 0,35 c	4,94 ± 0,39 d
0,20	80,00 ± 10,25 c	94,90 ± 0,07 b	3,48 ± 1,76 a	2,75 ± 0,18 e
0,25	84,00 ± 10,50 bc	95,00 ± 0,07 b	3,05 ± 0,52 a	1,02 ± 0,23 ef
0,30	23,00 ± 10,25 d	49,88 ± 0,08 c	3,03 ± 0,78 a	0,36 ± 0,07 f

CG: Capacidad germinativa; TMG: Tiempo medio de germinación; EG: Energía germinativa; LTR: Longitud total de raíz. Valores dentro de una columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

En cuanto al TMG, los menores valores se obtuvieron en el control y conforme incrementó la concentración salina se observó la tendencia del mismo a aumentar. Si bien el test estadístico no muestra diferencias entre 0,10 y 0,15 M, la diferencia numérica podría estar asociada a la heterogeneidad del lote de semillas.

En relación a LTR, la misma disminuyó al incrementar la concentración salina con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,001$) entre los tratamientos evaluados, hallándose una disminución mayor al 95% entre el control y el tratamiento de 0,30 M.

La bibliografía menciona para esta especie reducciones en la CG del 40% y el 10% para concentraciones de NaCl de 0,20 M y 0,10 M respectivamente en comparación con el control (Lim *et al.*, 2012). En este experimento se aprecia un comportamiento similar, aunque de menor magnitud (20%) en la concentración de 0,20 M. Esto puede deberse a las condiciones medioambientales en donde se desarrolló el material genético y a la posible heterogeneidad del lote de semillas utilizadas.

González *et al.* (2011) destaca que la salinidad reduce y retarda la germinación. En este trabajo se observó que en las concentraciones más elevadas de NaCl la germinación se vio afectada. Este hecho podría ser explicado por la menor habilidad de las semillas para tolerar la presencia de sales solubles que disminuyen el potencial hídrico. Las semillas deben modificar su potencial osmótico de manera que les permita mejorar el estatus hídrico de los embriones y permitir su crecimiento (Jones, 1986).

Respecto a la reducción del porcentaje de germinación con el aumento de la concentración de NaCl ha sido explicada por la disminución o retardo de la absorción del agua de las semillas debido a los efectos tóxicos que ejercen los iones sobre ellas. Los mismos, afectan las funciones de la membrana y de la pared celular del embrión por reducir la permeabilidad, incrementar el influjo de iones externos y el eflujo de solutos citosólicos (Mahdavi & Modarres, 2007; Flowers *et al.*, 2010).

En relación a LTR, la reducción observada al incrementar la concentración salina de la solución (Figura 3) coincide con los resultados descritos por Abrisqueta *et al.*, 1991; Reyes Pérez *et al.*, 2013; en otras especies. Estos autores, encontraron que conforme se incrementó la concentración de NaCl a partir de 0,05 M se redujo la longitud de radícula. Esta respuesta se atribuyó a la restricción ocasionada en el crecimiento debido al bajo potencial agua que genera la presencia de sales en la solución y a la interferencia de los iones salinos con los nutrientes y/o a la toxicidad de iones acumulados que conducen a la muerte celular (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999).

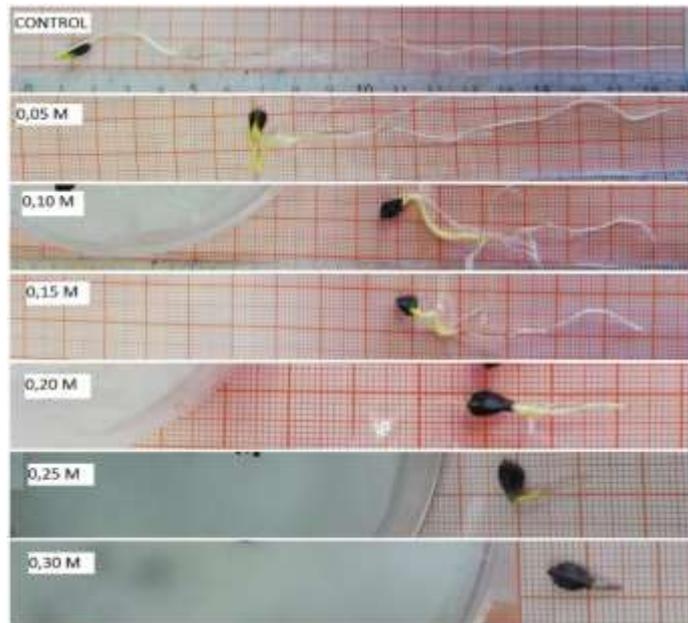


Figura 3: Longitud total de raíz en función de las diferentes concentraciones salinas evaluadas.

Con respecto al patrón de crecimiento diario de la radícula, se encontró que a medida que la concentración de NaCl incrementó la misma se redujo con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,001$). La longitud de raíz del control, superó ampliamente a la de los tratamientos con NaCl (Figura 4).

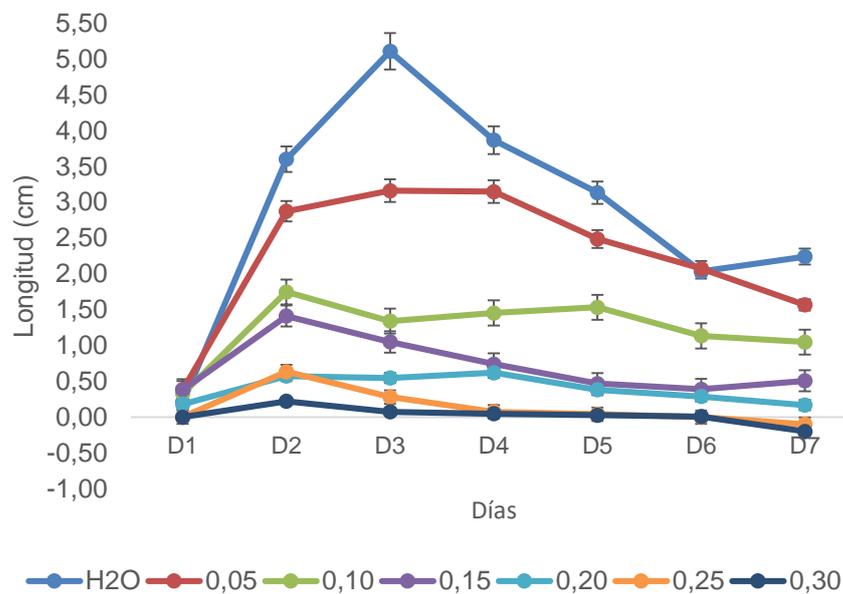


Figura 4: Respuesta de la longitud diaria de radícula para las diferentes concentraciones salinas evaluadas.

Es importante destacar que el mayor crecimiento radicular se alcanzó entre el segundo y tercer día para todos los tratamientos. Este comportamiento puede ser explicado por la curva típica que describe el proceso de imbibición de las semillas (Montaldi, 1995). En ella, se identifican al menos 3 etapas: 1) la absorción de agua por imbibición, que causa el hinchamiento y la ruptura final de la testa; 2) el inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión, y 3) el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. En la mayoría de las semillas el agua penetra inicialmente por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula. La longitud de cada una de las etapas mencionadas depende de propiedades inherentes de las semillas (contenido de substratos hidratables, permeabilidad de la cubierta de las semillas, absorción de oxígeno, tamaño de la semilla, etc.) y de las condiciones durante la exposición al agua (por ejemplo, niveles de humedad, composición del substrato, temperatura, etc.). Lo antes mencionado, permite suponer que la semilla de trigo presenta la habilidad de embeberse rápidamente aun en condiciones de baja disponibilidad de agua posiblemente debido a la composición de las reservas (albúminas) que caracteriza a este grano. Sin embargo, este resultado difiere de lo hallado por Prakash & Deshwal (2013) en esta misma especie. Estos autores hallaron en condiciones de disponibilidad de agua, la máxima imbibición (36% humedad) de las semillas a los 8 días de germinación. Probablemente estos resultados difieren de lo observado en este experimento (donde el TMG y el mayor crecimiento diario rondaron en los tres días en condiciones de estrés) debido a que en el trabajo antes mencionado no se especifican características del material genético, de su origen y tampoco de temperatura media utilizada durante el proceso de germinación.

A partir de la concentración de 0,25 M se pudo observar una reducción en la longitud de la raíz en los últimos días del ensayo (Figura 5). Esta disminución en el crecimiento radicular coincide con lo hallado por Reyes Pérez *et al.* (2013) en albahaca donde a partir de 0,05 M se reduce la longitud de radícula atribuida al bajo potencial agua y a la interferencia de los iones salinos con la nutrición, o por toxicidad de los iones acumulados que conducen a la muerte celular.



Figura 5: Efecto de la concentración salina de 0,25 M sobre el crecimiento longitudinal de raíces.

Esta modificación del patrón de crecimiento observado en altas concentraciones salinas podría estar asociado al efecto de triple respuesta del etileno tal como ha sido informado en plántulas etioladas de guisante. Este gas ocasiona la reducción de la elongación, el engrosamiento del hipocótilo y el cambio en la orientación del desarrollo (Azcón Bieto & Talon, 2013). Numerosos autores han demostrado que el etileno desempeña un papel importante en la respuesta de las plantas al estrés salino (Cao *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2010; Lin *et al.*, 2012).

En términos fisiológicos y de metabolismo, la raíz como órgano de absorción, tiene importancia en la respuesta a corto y largo plazo al estrés salino. Aquí se sintetiza ácido abscísico, denominado también hormona del estrés, capaz de producir cambios fisiológicos asociados a la conductividad hidráulica de la misma y a largas distancias, en las hojas, el cierre estomático (Hartung *et al.*, 2002). En este sentido, las características anatómicas y morfológicas de la raíz tienen efecto en la capacidad de adaptación a la salinidad (Maggio *et al.*, 2001).

III. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés hídrico

El estrés ocasionado por déficit hídrico es uno de los más adversos para el crecimiento y productividad de las plantas. En situaciones de estrés hídrico, el potencial agua y la turgencia celular se reducen lo suficiente para interferir en el

funcionamiento normal de la planta. Las plantas resisten el estrés de la sequía con cambios morfológicos, fisiológicos y metabólicos reflejados en sus órganos (Jamwal *et al.*, 2015).

Entre las estrategias mencionadas por las plantas para sobrellevar el estrés, la tolerancia debe incluir la habilidad de las semillas para germinar en condiciones limitadas de disponibilidad de agua, dado que el establecimiento exitoso y vigoroso de las plántulas contribuye indirectamente a mantener altos rendimientos. La disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación de las semillas, ya que determina la imbibición y posterior activación de procesos metabólicos, como la rehidratación, los mecanismos de reparación de membranas, proteínas y ADN, la elongación celular y aparición de la radícula (Montaldi, 1995; Pineda, 2017). Los potenciales hídricos negativos que se presentan en los suelos durante los períodos de sequía impiden la absorción de agua, los cuales afectan la secuencias de eventos involucrados en el proceso de germinación de las semillas y en el crecimiento de las plántulas (González *et al.*, 2005).

En este ensayo, se observó una disminución de CG y de la EG conforme se incrementó el grado de estrés hídrico, es decir aumentó la concentración de PEG utilizada (Tabla 3).

Tabla 3: Respuesta germinativa del trigo sarraceno frente a diferentes grados de estrés hídrico simulados con PEG.

PEG [ψ] MPa	CG (%)	EG (%)	TMG (días)	LTR (cm)
0	100 \pm 0,00 a	93,32 \pm 0,17 a	1,53 \pm 0,41 c	21,96 \pm 1,39 a
-0,5	85,56 \pm 10,15 b	93,32 \pm 0,14 a	1,67 \pm 0,25 c	6,29 \pm 0,63 b
-0,79	71,11 \pm 10,55 c	86,66 \pm 0,05 b	1,84 \pm 0,62 c	3,32 \pm 0,68 c
-1,24	63,33 \pm 9,57 d	79,95 \pm 0,06 c	3,16 \pm 1,12 ab	1,13 \pm 0,29 d
-2,27	21,11 \pm 10,25 e	40,00 \pm 0,08 d	3,74 \pm 1,11 a	0,27 \pm 0,07 d
-3,45	10,00 \pm 9,18 f	19,99 \pm 0,04 e	2,97 \pm 2,33 b	0,09 \pm 0,03 d

CG: Capacidad germinativa; EG: Energía germinativa; TMG: Tiempo medio de germinación; LTR: Longitud total de raíz. Valores dentro de una columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

La mayor CG se logró en el control, mientras que para EG no se hallaron diferencias entre el control y -0,5 MPa. Al disminuir el potencial osmótico de la solución utilizada se observó una reducción de estas variables. En el tratamiento de -3,45 MPa, la germinación se redujo en un 75% respecto del control.

En cuanto al TMG, se observó el menor valor en el control, lo que indica que requiere menos días en promedio para alcanzar la germinación. Sin embargo, el test estadístico no detectó diferencias entre este y los tratamientos de -0,5 y -0,79 MPa. Posiblemente esta respuesta esté asociada a la heterogeneidad del lote de semillas y/o al desvío estándar de los datos que no permitió al test estadístico hallar las correspondientes diferencias tal como lo hizo en CG y EG. Esta situación es similar la observada entre -1,24 y -3,45 MPa. A pesar de ello se aprecia la tendencia a incrementar el TMG al disminuir el potencial osmótico.

Con respecto a la variable LTR, los mayores valores fueron logrados en el control, con reducciones en el valor de la misma al disminuir el potencial osmótico de las soluciones utilizadas. Se registró una disminución en la longitud radicular del 70% en el tratamiento de -0,5 MPa con respecto al control, mientras que en el tratamiento de -3,45 MPa, la reducción hallada fue mayor al 95% (Figura 6). Este efecto fue similar al observado por Jamwal *et al.*, 2015 para esta misma especie. A pesar de ello, este autor registró la reducción del porcentaje de germinación y de la longitud radicular a partir de un potencial osmótico de -0,70 MPa. Aunque se trate de la misma especie, las diferencias respecto de los resultados hallados en este experimento podrían estar dadas por las condiciones medioambientales donde se desarrolló el material genético utilizado.



Figura 6: Longitud total de raíces al finalizar el experimento para las diferentes condiciones de estrés evaluadas.

Al analizar el patrón de crecimiento de radícula diario (Figura 7) se observó que las mayores longitudes de raíz fueron alcanzadas entre el segundo y tercer día del experimento. Lo cual puede ser explicado, como en el ensayo antes mencionado de estrés salino, a través de la curva de imbibición de la semilla. Es importante destacar que con potenciales osmóticos por debajo de -0,79 MPa la longitud de radícula se redujo a partir del tercer día. Este resultado podría explicarse, al igual que en el experimento anterior, mediante el efecto de triple respuesta que genera el etileno.

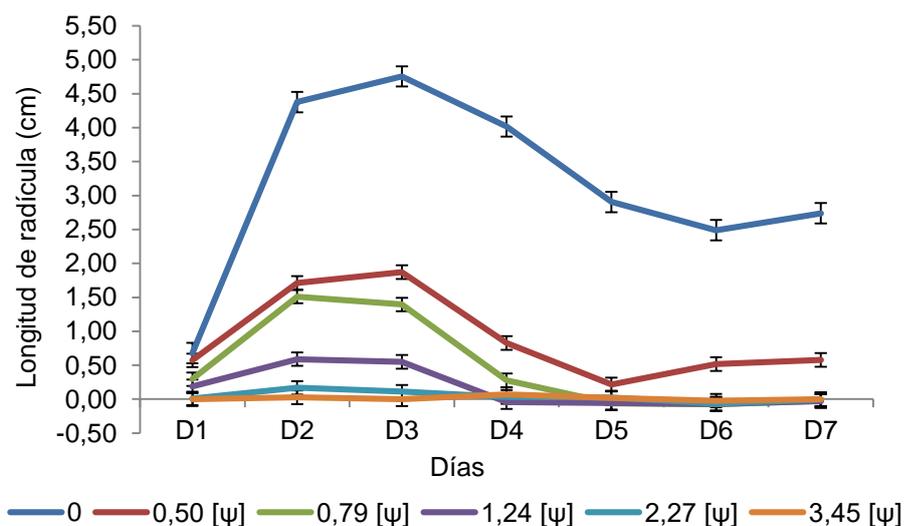


Figura 7: Respuesta de la longitud diaria de radícula de trigo sarraceno en diferentes grados de estrés hídrico simulados con PEG.

Por otra parte, los resultados confirman lo obtenido por González *et al.*, (2005) en *Triticum aestivum* en donde la germinación disminuyó con el incremento de la presión osmótica de las soluciones de PEG-6000 utilizadas, con diferencias estadísticas significativas a partir de potenciales de -0,75 MPa. Este comportamiento coincide también con lo observado en *T. aestivum* por otros investigadores, quienes señalan que potenciales hídricos negativos impiden la absorción de agua y generan afecciones en las secuencias de eventos involucrados en el proceso de germinación (Bayuelo *et al.*, 2003; Morgan, 2004).

Los resultados hallados en esta experiencia coinciden con lo reportado por otros autores para la especie, donde la germinación y la longitud de radícula se ven restringidos por efecto del déficit hídrico. A pesar de ello, suele considerarse al trigo sarraceno como una especie tolerante a bajos niveles de estrés hídrico (Jamwal *et al.*, 2015).

IV. Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades de siembra.

Existen diversos factores que inciden en el proceso de germinación, los más comúnmente conocidos son humedad, temperatura y presencia de oxígeno. Así mismo, la profundidad de la semilla en el perfil de suelo también afecta a la germinación, la emergencia de plántulas y por lo tanto el pasaje del estadio de plántula a planta adulta (Koger *et al.*, 2004; Raimondo, 2015). En este sentido, como se mencionó en la introducción, el tamaño de la semilla es importante a la hora de definir la profundidad de siembra, dado que el mismo se asocia a las reservas disponibles por el embrión para el proceso de emergencia. Las plántulas que se desarrollan a partir de semillas de mayor tamaño presentan un desarrollo radicular mayor y más rápido, lo cual les permite emerger desde profundidades mayores (Villamil & García, 1998).

Por lo antes mencionado, se destaca la importancia de conocer la profundidad de siembra adecuada para el trigo sarraceno en un suelo típico del VIRN. En este ensayo, se observó un 100% de emergencia de plántulas a una profundidad de siembra de 2 cm (Figura 8).

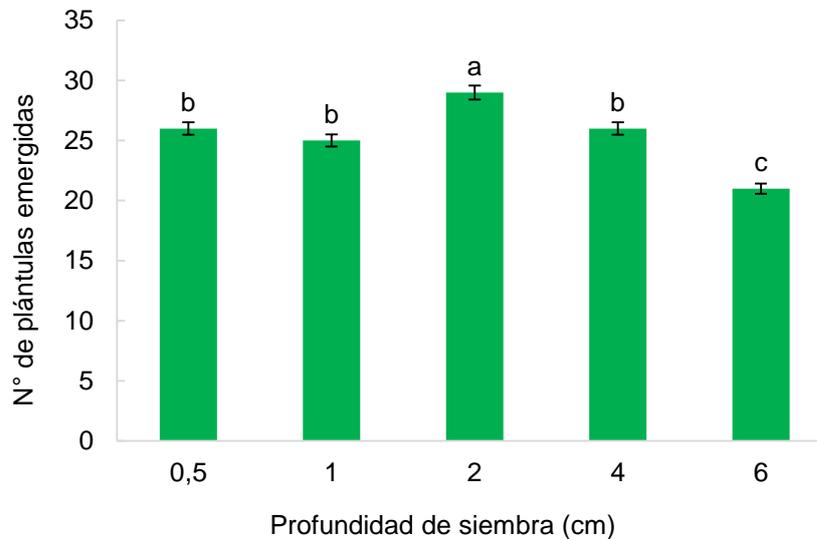


Figura 8: Emergencia de plántulas de trigo sarraceno en función de la profundidad de siembra. Valores dentro de una misma variable seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

Las profundidades de siembra de 0,5, 1 y 4 cm redujeron el porcentaje de emergencia de plántulas en un 12% respecto del óptimo, mientras que la profundidad de 6 cm presentó una reducción del 28%. En relación al patrón de emergencia de plántulas en función del tiempo, se observó que los mayores porcentajes ocurrían en el segundo día para los tratamientos con profundidades menores a 2 cm. Para profundidades superiores, la mayor emergencia se identificó en el tercer día. Esto deja en evidencia que a medida que se incrementa la profundidad de siembra se retrasa el periodo de emergencia de plántulas. Los resultados hallados en este experimento concuerdan con los valores de profundidad de siembra recomendados para este cultivo a pesar de que el suelo utilizado fue de textura franco arcillo limosa. Entre ellos, Dionisi (2012) recomienda valores de profundidad de siembra entre 2 y 5 cm y, Pavek (2016) entre 1,27 y 4 cm para suelos francos con buen drenaje. Posiblemente, en el caso de profundidades menores a 2 cm las semillas logran germinar pero resultan más sensibles ante una situación de estrés dado que el sistema radicular está pobremente desarrollado. En las profundidades mayores a 2 cm el embrión puede agotar todas sus reservas en tratar de emerger y no lograrlo. Por este motivo para el trigo sarraceno, por tratarse de una especie de germinación epigea donde los cotiledones deben emerger del suelo debido a

un considerable crecimiento del hipocótilo, se recomienda realizar siembras superficiales (Bewley & Black, 1994). Al respecto, Parker *et al.* (1965) destacan que un aumento en la longitud del hipocótilo o epicótilo, como se observa en siembras profundas, reduce la probabilidad de que las plántulas sean capaces de superar la resistencia del suelo.

Uno de los principales factores que limita la germinación y emergencia es la disponibilidad de agua superficial del suelo sin embargo, el menor porcentaje de emergencia tiene lugar a mayor profundidad. Esto indica que la disminución de la emergencia con el aumento de la profundidad puede estar asociado a una reserva de energía inadecuada en la semilla (Mennan & Ngouajio, 2006; Chachalis *et al.*, 2008) o al volumen de reservas que dispone el embrión para poder germinar y emerger (Villamil & García, 1998).

Luego de la emergencia de las plántulas se consideró el efecto de la profundidad de siembra sobre parámetros morfométricos. Con respecto a la altura total de las plantas medidas durante el transcurso del ensayo, se observó que los valores promedio máximos se alcanzaron en el tratamiento de siembra más superficial (0,5 cm), con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,001$) respecto de las restantes profundidades de siembra evaluadas. Estas variaciones en altura podrían estar relacionadas directamente con el desarrollo del área foliar, Ross y Lembi (1999) señalaron que las primeras plantas que emergen disponen mejor del agua, nutrientes y luz. Estas plantas al emerger precozmente tienen ventajas en el uso y disponibilidad de los recursos para el crecimiento, y frecuentemente afectan negativamente el crecimiento de las que se desarrollan después. Al incrementar la profundidad de siembra, se observó que las plantas disminuyeron su porte hasta alcanzar los menores valores de esta variable en la mayor profundidad de siembra estudiada (Figuras 9 y 10). En este sentido, Kirby (1993) señaló que la profundidad de siembra afecta la tasa de crecimiento del primordio, tasa de emergencia y número final de hojas, elongación del tallo y longitud de los entrenudos en trigo y cebada.

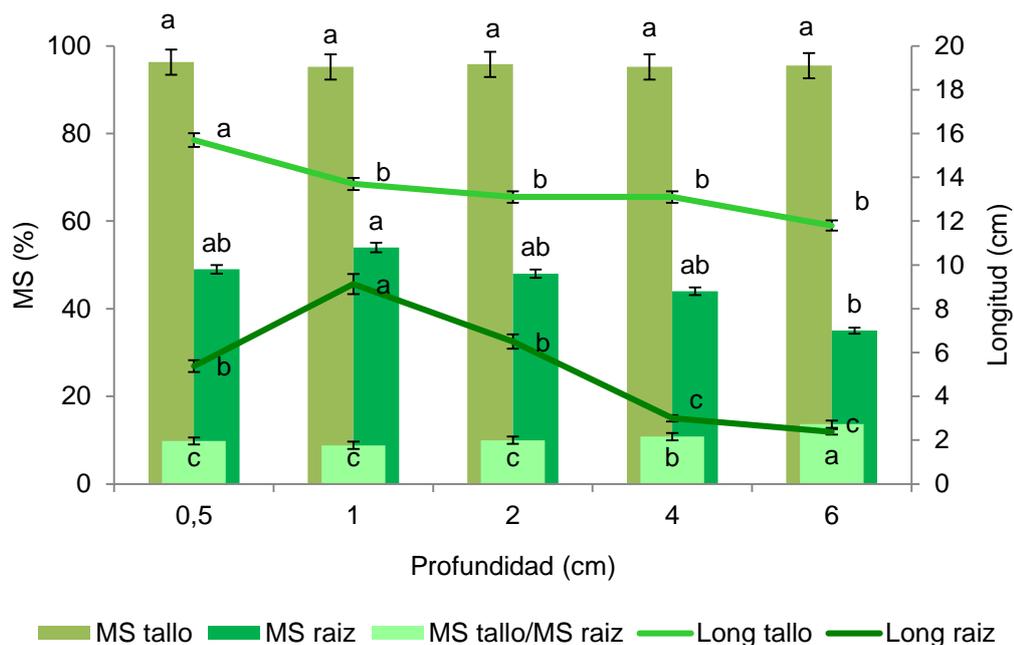


Figura 9: Respuesta del contenido de materia seca (MS) para las secciones de tallo y raíz en función de la profundidad de siembra. Valores dentro de una misma variable seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

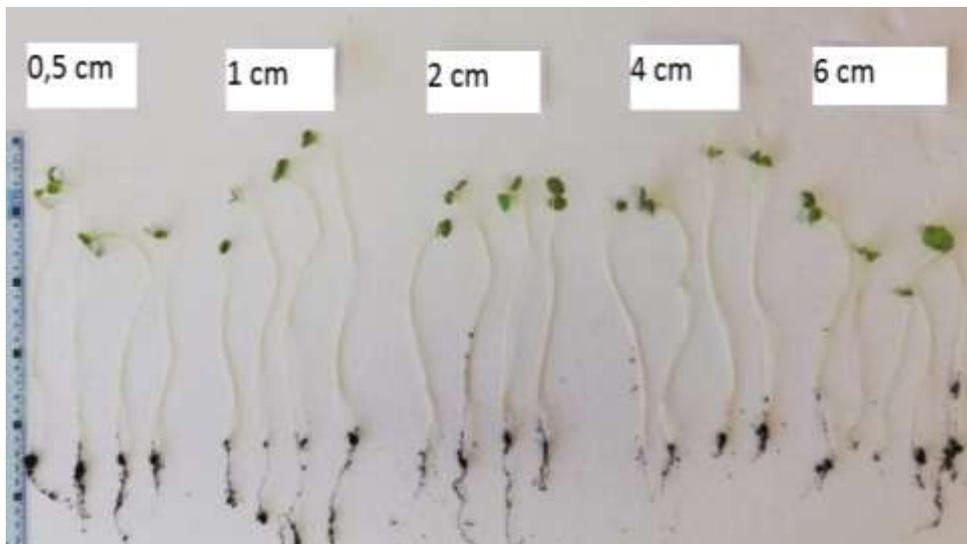


Figura 10: Crecimiento de plántulas en función de la profundidad de siembra.

En cuanto a la longitud radicular se pudo observar que el valor más alto correspondió al tratamiento de siembra a 1 cm de profundidad, mientras que el test estadístico no encontró diferencias significativas entre las profundidades de 0,5 cm y 2 cm, y tampoco entre 4 y 6 cm. En este sentido una siembra superficial

(0,5 cm) puede conducir a la desecación de las plántulas. Incluso si las semillas sembradas a poca profundidad sobreviven y germinan (como en este caso), existe la posibilidad de que las plántulas resultantes busquen agua y nutrientes minerales horizontalmente y no penetren en profundidad al suelo. En siembras mayores a 2 cm posiblemente el embrión destinará sus reservas a la elongación de la parte aérea para emerger y autoabastecerse en detrimento del desarrollo radicular. En este sentido los resultados obtenidos coinciden con lo expresado por Vázquez de Aldana (2011) quienes encontraron que la longitud de la raíz fue menor a mayor profundidad de siembra.

Con respecto al número de hojas y al diámetro del tallo, no se hallaron diferencias entre los diferentes tratamientos evaluados. En todos los casos se mantuvieron los cotiledones y no hubo desarrollo de hojas verdaderas durante el período de experimentación. En relación al diámetro del tallo, esta variable se mantuvo en 0,1 cm para todas las profundidades. Estos resultados posiblemente se encuentren asociados al breve periodo de tiempo (diez días) en el que transcurrió el ensayo.

En relación a la producción de materia seca (MS) del tallo, no se hallaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados. Esto pudo deberse a que las plantas emergidas de menor profundidad de siembra presentaron mayor porte y a simple vista menor diámetro del tallo que aquellas sembradas a mayor profundidad (menor porte y mayor diámetro). Sin embargo la robustez del equipamiento utilizado para medir el diámetro del tallo no reflejó estas diferencias. En lo que respecta a materia seca de raíces, se evidencia una reducción de la misma conforme incrementó la profundidad de siembra, con los menores valores en el tratamiento de 6 cm. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vázquez de Aldana (2011) en especies gramíneas y leguminosas.

Es importante destacar que la relación de crecimiento tallo-raíz varía ampliamente entre especies vegetales, durante el ciclo vegetativo y es fuertemente modificada por factores externos. En este sentido, Kramer (1987) menciona que existe información limitada respecto a la cantidad de materia seca incorporada a las raíces, comparada con los vástagos, debido a la dificultad de obtener sistemas radicales completos. Aproximadamente el 40% de la materia seca de 28 especies de plantas herbáceas (cebada, trigo, alfalfa, maíz, papa,

entre otros) se encuentra en las raíces, siendo más elevado el porcentaje en cultivos de raíces y tubérculos. Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con lo mencionado anteriormente en profundidades menores a 6 cm.

En cuanto a la relación MS tallo/ MS raíz se pudo observar que la misma alcanzó los mayores valores en los tratamientos más profundos de siembra (4 y 6 cm). Esto se explica por el mayor desarrollo de la parte aérea en detrimento de la parte radicular que manifiestan estos tratamientos, posiblemente debido al mayor desarrollo del vástago que realizaron estas plantas para poder emerger.

2. Ensayo en plántulas

I. Respuesta al estrés hídrico en plántulas de trigo sarraceno

En base a la influencia que tiene el agua en el cultivo y a partir de la tolerancia observada a condiciones de estrés hídrico durante la germinación (Ensayo III: "Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés hídrico"), se planteó evaluar su respuesta en estadio de plántula.

Comportamiento del agua en el suelo

Al inicio del ensayo, se midió el agua percolada de las macetas, que alcanzó valores cercanos a 30 ml en todos los tratamientos. Con el transcurso del ensayo y las frecuencias de riego ya establecidas, el agua percolada en cada tratamiento fue diferente, observándose alrededor de 60 y 25 ml para la frecuencia de riego cada 2 y 4 días respectivamente. En las frecuencias de riego cada 8 y 16 días no hubo percolación. Estos resultados probablemente estén asociados a que en frecuencias de riego más esporádicas el suelo se encuentra más seco, y al momento del riego retiene mayor cantidad de agua.

En relación a la humedad gravimétrica del suelo, previo a cada muestreo morfo-fisiológico se determinó su contenido en cada tratamiento. El análisis estadístico de esta variable no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) asociadas al momento de muestreo. Sin embargo, detectó diferencias ($p < 0,001$) asociadas al tratamiento. Los resultados indican que la humedad gravimétrica del suelo disminuyó conforme lo hizo la frecuencia de riego (Tabla 4).

Tabla 4: Humedad gravimétrica del suelo (%) asociada a las frecuencias de riego.

Frecuencia	% HG
FI	62,46 a
FII	56,80 b
FIII	45,94 c
FIV	39,21 d

% HG: humedad gravimétrica (%). FI: riego cada 2 días. FII: riego cada 4 días. FIII: riego cada 8 días. F IV: riego cada 16 días.

Parámetros morfométricos

Para conocer el efecto de la frecuencia de riego y del momento sobre los parámetros morfométricos se realizó un análisis estadístico individual de estas variables. En la Tabla 5 se observa el análisis en función de las frecuencias de riego y, en la Tabla 6 en función del momento de muestreo.

Tabla 5: Respuesta de plántulas de trigo sarraceno a diferentes frecuencias de riego.

Frecuencia	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)	Nº de hojas	Área foliar (cm ²)	CRA (%)
I	28,38 a	6,48 a	3,78 a	57,20 a	89,89 a
II	26,16 b	5,74 a	3,45 a	46,87 b	84,00 a
III	23,49 c	4,58 b	3,63 a	43,21 b	66,85 b
IV	20,11 d	4,61 b	1,88 b	19,76 c	58,28 b

I: frecuencia cada 2 días, II: frecuencia cada 4 días, III: frecuencia cada 8 días y IV: frecuencia cada 16 días. CRA: contenido relativo de agua. Valores dentro de una columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

Tabla 6: Respuesta de plántulas de trigo sarraceno a diferentes momentos de muestreo en condiciones de distintas frecuencias de riego.

Momento	Altura (cm)	Longitud de raíz (cm)	N° de hojas	Área foliar (cm ²)	CRA (%)
I	21,34 c	4,29 c	2,43 c	35,67 b	77,89 a
II	21,18 c	5,58 b	3,08 b	35,45 b	73,97 b
III	26,70 b	6,48 a	3,48 a	37,38 b	73,89 b
IV	28,93 a	5,06 bc	3,75 a	43,53 a	73,37 b

I: 7 días, II: 14 días III: 21 días, IV: 28 días. CRA: contenido relativo de agua. Valores dentro de una columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

- Altura de planta: la misma disminuyó a medida que se redujo la frecuencia de riego (Tabla 5). Es decir, las plantas más estresadas (F IV) presentaron la menor altura (Figura 11). Así mismo, dentro de cada tratamiento la altura de plántulas aumentó conforme transcurría el momento de muestreo (Tabla 6). Estos resultados coinciden con lo observado por Villa Castorena *et al.* (2011) y Segura Castruita *et al.* (2011) en otros cultivos, donde el crecimiento de las plantas fue mayor con el transcurso del tiempo y a medida que se aplicaron más riegos. Conforme transcurre el tiempo las plantas aumentan sus requerimientos hídricos y ante una situación de estrés cierran los estomas para reducir la transpiración lo que afecta el desarrollo de las mismas.

- Longitud de raíz: para esta variable, el test estadístico no detectó diferencias entre las frecuencias I y II, encontrándose en estos tratamientos la mayor longitud de raíces (Tabla 5 y Figura 11). Dentro de cada tratamiento, se detectó un incremento en la longitud de raíz hasta el M III, a partir del cual la longitud disminuyó (Tabla 6). Posiblemente al incrementar el grado de estrés se incrementó la longitud radicular en busca del recurso hídrico, sin embargo, cuando el estrés fue más severo redujo la inversión de recursos destinados al crecimiento en longitud de la raíz. Estos resultados coinciden con lo expresado por varios autores, quienes encontraron que la longitud de la raíz principal se

incrementa en condiciones de estrés hídrico, debido a que la planta necesita una zona de exploración mayor para buscar agua y desarrollar sus procesos fisiológicos (Sharp *et al.*, 1988; Blum, 2005; Golbert *et al.*, 2011; Florido Bacallao & Bao Fundora, 2014). Sin embargo, esto se manifiesta en condiciones de estrés moderado, en condiciones más severas se observa una reducción del crecimiento de la misma (Ojeda-Silvera *et al.*, 2013).

- Número de hojas y área foliar: con el transcurso del tiempo se observó un incremento de estas variables. A pesar de ello, no se detectaron diferencias entre el M III y M IV (Tabla 6). En relación a la frecuencia de riego, conforme se redujo la misma, ambas variables se vieron afectadas (Tabla 5 y Figura 11), obteniéndose los menores valores en el tratamiento de mayor estrés (F IV). Esto podría interpretarse como una respuesta de la planta, donde reduce el área foliar con el objeto de disminuir la pérdida de agua por transpiración. Lo observado en estas variables coincide con lo propuesto por Cogliatti (2010) en *Triticum aestivum*, y en el caso particular del área foliar, se demostró como una reducción proporcional del largo y ancho de las láminas.



Figura 11: Respuesta de parámetros morfométricos asociados a las diferentes frecuencias de riego evaluadas.

- CRA: en esta variable respecto del momento de muestreo, se hallaron diferencias entre M1 y los restantes tratamientos (Tabla 6). Posiblemente porque en la primer semana (M1) de muestreo todos los

tratamientos estaban en igual condición de humedad en el suelo (saturado) lo que explica el mayor valor de esta variable. En los restantes muestreos (M2, M3, M4) el contenido de humedad del suelo variaba en función de la frecuencia aplicada pero la condición hídrica del mismo se recuperaba temporalmente al aplicar el riego alcanzando la condición de CC. En función del grado de estrés ocasionado (Tabla 5) también se observó una disminución en el CRA, a pesar de ello, F I y F II, así como F III y F IV, no mostraron diferencias entre sí. Este resultado podría deberse a que esta variable responde a la capacidad de la planta de recuperarse para mantener su estado hídrico a medida que el potencial hídrico del suelo disminuye, constituyendo una adaptación al déficit hídrico. Esta capacidad se refleja en el CRA, expresión que permite conocer el estado hídrico de la planta, por lo que es de esperar que aquellas sometidas a mayor estrés tengan menores valores. Tal es el caso de F IV donde se evidenció una reducción en el CRA cercana al 60 % respecto de F I. Este hecho se relaciona con lo mencionado en la introducción donde las plantas de esta especie se marchitan rápidamente ante un estrés hídrico, sin embargo, la rehidratación ocurre velozmente cuando se restablecen las condiciones normales de agua (Delpérée *et al.*, 2003). El similar comportamiento de F I y F II podría estar asociado a que el contenido de agua en el suelo es en promedio de 59,6 %, mientras que para F III y F IV es de 42,6 %. Lo cual permite suponer que a partir de valores de HG del suelo menores al 45% (F III y F IV), se reduce la magnitud alcanzada por la variable. Un comportamiento similar de esta variable fue reportado por Barroso & Jerez (2000) para un ensayo de similares características en cultivo de albahaca blanca.

Parámetros fisiológicos

Para conocer el efecto de la frecuencia de riego y del momento sobre los parámetros fisiológicos se realizó un análisis estadístico individual de estas variables.

- Contenido de clorofila: Como se observa en la Tabla 7, los valores de clorofila a (ca) clorofila b (cb) y, carotenoides y xantofilas (cyx) en función del M se redujeron conforme aumentó el periodo de exposición al estrés. Por ello, el

contenido más bajo de estas variables se alcanzó en M IV, a los 28 días del ensayo.

Tabla 7: Contenido de clorofilas y xantofilas en función del momento y de la frecuencia de riego.

Variable	M	Valor ($\mu\text{g/ml}$)	F	Valor ($\mu\text{g/ml}$)
ca	I	4,65 a	I	4,37 ab
	II	4,63 a	II	4,54 a
	III	3,41 b	III	3,87 b
	IV	3,25 b	IV	3,25 c
cb	I	2,15 a	I	1,98 a
	II	2,02 a	II	1,78 ab
	III	1,46 b	III	1,68 ab
	IV	1,37 b	IV	1,56 b
cyx	I	0,93 a	I	0,79 a
	II	1,01 a	II	0,92 a
	III	0,90 a	III	0,92 a
	IV	0,65 b	IV	0,85 a

M: Momento. M I: 7 días, M II: 14 días M III: 21 días, M IV: 28 días, F: Frecuencia. F I: 2 días, F II: 4 días, F III: 8 días y F IV: 16 días. ca: clorofila a, cb: clorofila b, cyx: carotenoides y xantófilas. Valores dentro de una misma variable seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

En relación a la frecuencia de riego, el contenido de ca y cb tendieron a reducirse conforme disminuyó la frecuencia de riego. En el caso de ca el comportamiento no es tan evidente como en cb posiblemente asociado a algún error en el muestreo y procesamiento de laboratorio. Con respecto a cyx no se hallaron diferencias en función de la frecuencia de riego utilizada.

A partir de lo antes expuesto, existen trabajos que mencionan la reducción del contenido de clorofilas al incrementar la condición de estrés hídrico (Mayoral *et al.*, 1981; Kuroda *et al.*, 1990; Majumdar *et al.*, 1991; Keyvan, 2010) tal como se observó en este trabajo en función del momento de muestreo.

Por otra parte, en relación a cb, existen evidencias que demuestran que el estrés hídrico reduce la concentración de las mismas en mayor medida

respecto de ca, transformando así la relación a favor de ca (Ashraf *et al.*, 1994; Jain *et al.*, 2010; Ashraf & Harris, 2013). Estos resultados concuerdan con lo observado en este experimento en ca/cb donde prácticamente no se manifestaron diferencias entre los momentos de muestreo. Sin embargo, se evidenció la tendencia a reducirse conforme disminuyó la frecuencia de riego (Figura 12).

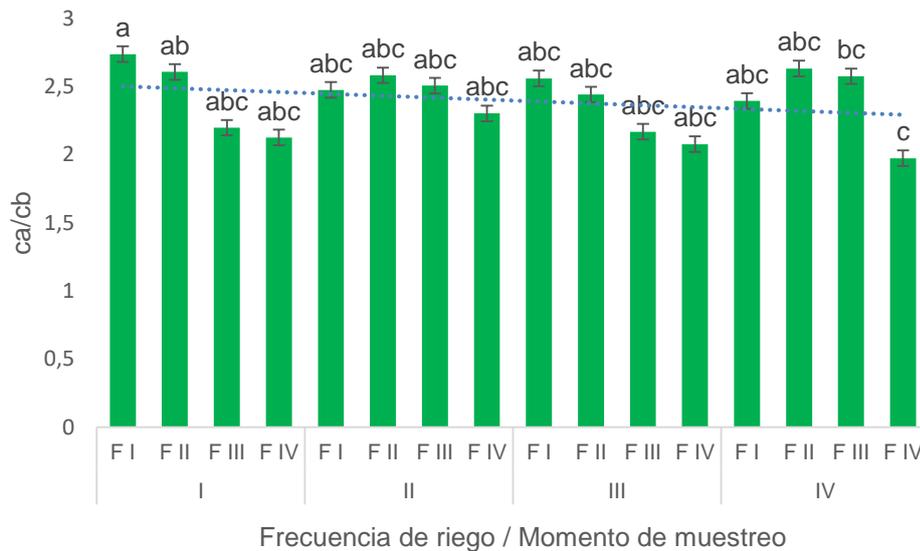


Figura 12: Relación ca/cb en función del momento de muestreo y de la frecuencia de riego estudiada. FI: frecuencia de riego cada 2 días; FII: frecuencia de riego cada 4 días; FIII: frecuencia de riego cada 8 días; FIV: frecuencia de riego cada 16 días, MI: 7 días, MII: 14 días, MIII: 21 días, MIV: 28 días. Valores seguidos de la misma letra, no difieren significativamente según el test de LSD Fisher ($p > 0,05$).

Respecto al contenido de cyx, estos pigmentos juegan un rol importante en la cosecha de la luz, en la fotoprotección y en el ensamblado de los fotosistemas (Latowski *et al.*, 2004; Misra *et al.*, 2006). En plantas bajo sequía, la reducción en la fotosíntesis resulta de una baja disponibilidad de CO₂ debido al cierre estomático, e incapacidad de disipar la radiación solar como calor latente, consecuentemente, la temperatura foliar se incrementa. El estrés hídrico predispone a las hojas a sufrir fotoinhibición, debido a que en potenciales hídricos bajos, la fotosíntesis puede ser alterada por factores no-estomáticos, principalmente por reducción en la actividad de los fotosistemas II y las reacciones de transferencia de electrones (Cornic, 1994). Tasas de fotosíntesis limitadas por un cierre estomático podrían provocar un daño irreversible en el aparato fotosintético por alta radiación. Bajo estas condiciones, en las que el

cloroplasto está sometido a un exceso de luz, se haría evidente una regulación en la fotosíntesis en la que intervienen las xantofilas y carotenoides para disipar el exceso de energía, dando protección para evitar el daño de los fotosistemas II (Demming-Adams, 1990). Estos mecanismos de fotoprotección serían de mayor importancia para la sobrevivencia en ambientes donde la planta está sometida a períodos prolongados de estrés ambiental (Ball *et al.*, 1994). Una menor sensibilidad a sufrir fotoinhibición por luz en exceso y la mayor tolerancia a la sequía, estaría relacionada a diferencias entre especies, en la capacidad de utilización de la luz por la fotosíntesis, en la capacidad de disipación de energía por pigmentos del ciclo de las xantofilas, así como por un adecuado balance hídrico en las plantas. Las mayores tasas fotosintéticas, niveles de fotoprotección (concentración de pigmentos) y mecanismos de transporte-conservación de agua se encontrarían en especies expuestas a sequía, alta radiación y altas temperaturas por períodos mayores de tiempo (Cabrera Marino, 2002).

En esta experiencia y contrariamente a lo antes expuesto, el contenido de *cyx* no mostró diferencias estadísticas con el incremento del estrés. Algunas causas que explican este resultado podrían estar asociadas a características propias de la especie. Es importante tener en cuenta que la reducción o cambio del contenido de clorofilas depende de la duración y severidad del estrés hídrico (Kpyoarissis *et al.*, 1995; Basu *et al.*, 2004). Así mismo, el contenido de pigmentos fotosintéticos varía según la edad de la hoja y su posición en la planta (Ulehla, 1961; Casierra-Posada *et al.*, 2012). Estas consideraciones también son importantes a la hora de explicar los resultados hallados en esta experiencia dado que, se trataba de plantas pequeñas con dos/tres hojas verdaderas, con lo cual, la cantidad de hojas utilizadas para alcanzar el peso requerido en el protocolo de determinación de pigmentos utilizado variaba según el desarrollo de las mismas (en ocasiones se utilizó solo una hoja y en otras todas las presentes). Este hecho pudo incidir en los resultados obtenidos y llevar a resultados enmascarados o erróneos.

Otra posible explicación de los resultados obtenidos podría estar asociada a la curva de crecimiento de las plántulas donde, con el transcurso del tiempo (M 4 de este ensayo, por ejemplo) existe mayor desarrollo de las mismas y con ello

podría existir un efecto de dilución en la concentración de los pigmentos totales. Por otra parte, riegos menos frecuentes reducen el crecimiento de las plantas como se observó en la Tabla 5, por lo que ciertos procesos metabólicos podrían verse reducidos o inhibidos como la síntesis de pigmentos.

Es importante destacar que durante el transcurso del ensayo se pudo observar una alta mortalidad de plantas pertenecientes al tratamiento F IV. Este hecho comenzó a manifestarse a partir de M III con mayor incidencia en M IV. Estos datos no fueron cuantificados, sin embargo permiten suponer cierta tolerancia de la especie a restricciones hídricas en la etapa vegetativa como menciona Cawoy *et al.* (2006). Por otra parte a partir de M II se observó el inicio de la floración en los tratamientos F II y F III. Esto podría estar asociado a estrategias de supervivencia de las plantas, quienes adelantan la floración al censar la condición de estrés (Azcón Bieto & Talón, 2013). En F I la floración se evidenció a partir de M III, este retraso comparado con F II y F III pudo deberse a la mayor disponibilidad de agua. Este estadio no se manifestó en F IV posiblemente porque la condición de estrés fue muy severa.

A partir de los resultados hallados en esta experiencia se visualiza la tolerancia de las plántulas de trigo sarraceno al estrés hídrico. Sin embargo, el desarrollo y crecimiento de las mismas se vio limitado cuando el periodo de estrés fue prolongado y con frecuencias de riego espaciadas en el tiempo. De los resultados obtenidos se podría considerar como frecuencia óptima de riego a F II (frecuencia de riego cada 4 días) dado que la mayoría de las variables estudiadas (longitud de raíz, número de hojas, CRA y contenido de clorofila) no mostraron diferencias respecto de F I, y aquellas que lo hicieron (altura de planta y área foliar) presentaron ligeras diferencias. La selección de una frecuencia de riego cada 4 días permitiría un manejo más eficiente de este recurso (con un ahorro del 50% de agua respecto de F I), con leves efectos en el desarrollo y crecimiento de las plántulas y por lo tanto en la implantación del cultivo.

CONCLUSIONES

De los ensayos realizados en esta tesis se obtuvieron las siguientes conclusiones que permiten aceptar la hipótesis propuesta:

a) Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes temperaturas

La temperatura considerada como óptima para la germinación del trigo sarraceno es de 30° C. En ella se obtuvo el mayor porcentaje de germinación y los mejores parámetros germinativos.

b) Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés salino

Conforme se incrementó la concentración de NaCl del medio, se observó una reducción del porcentaje de germinación y un mayor tiempo medio de la misma. No obstante, el trigo sarraceno ha demostrado tolerancia a la salinidad hasta concentraciones de 0,25 M con porcentajes de germinación del 80 %.

c) Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes condiciones de estrés hídrico

Al incrementar el grado de estrés hídrico el porcentaje de germinación se vió reducido. Sin embargo, el trigo sarraceno ha demostrado tolerancia hasta potenciales de -0,79 y -1,24 MPa con valores aceptables de germinación (70 - 60 % respectivamente).

d) Respuesta germinativa del trigo sarraceno a diferentes profundidades de siembra.

Para un suelo típico (serie Chacra) del VIRN, se considera como profundidad óptima de siembra 2 cm, dado que en ella se lograron los mayores porcentajes de plántulas emergidas. Profundidades mayores retrasan el periodo de emergencia y el número de plántulas emergidas.

e) Respuesta al estrés hídrico en plántulas de trigo sarraceno

Para un suelo típico del VIRN conforme se redujo la frecuencia de riego, la disponibilidad de agua en el suelo fue menor y las plántulas de trigo redujeron su crecimiento en biomasa aérea y radical. Por otra parte, por efecto del estrés se observó una reducción del contenido de pigmentos asociados a la

fotosíntesis. Con lo cual, es de suponer que la restricción hídrica podría incidir en el rendimiento productivo del cultivo. Sin embargo, las plántulas de trigo sarraceno han demostrado tolerancia a cierto grado de estrés hídrico (frecuencia de riego cada 4 días) con lo cual, esta estrategia podría utilizarse para un manejo más eficiente del recurso hídrico local sin afectar la implantación del cultivo. A pesar de ello se destaca la importancia de avanzar en su evaluación a campo.

ANEXO

Características físico químicas asociadas a la serie de suelos "chacra" del VIRN.

		DATOS DE LABORATORIO Y CAMPO																												
		Chacra 542						Chacra 607						Lomas 617																
Serie y N° de Perfil		A1	B21	B22	B3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	A1	B21	B22	B3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6			
1																														
2	Horizonte																													
3	Profundidad	10	15	32	37	82	135	144	210	267	281	0	4	14	26	101	126	150	4	41	56	100	100	200	0	41	56	100	100	200
4	N° de Muestra	503	513	517	525	540	541	550	555	558	564	565	571	575	581	585	591	595	598	604	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650
5	Pasta	34	78	83	83	22	23	24	24	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
6	pH 1/25																													
7	1/10																													
8	Calcáreo	24	24	25	13							14	12	13	12	15							15	11	14					
9	Yeso	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓							✓	✓	✓					
10	Mat. Orgánica	4.13	7.56	1.56	0.85							7.6	12.6	0.9	0.24															
11	N																													
12	C/N																													
13	GRANULOMETRIA	+ 2	35	33	48	33	26	10	14	16	11	17	41	50	45	46	22	13	24	15	13	36	23	33						
14		2-20	43	53	44	52	42	50	64	56	49	41	50	34	37	35	16	5	36	53	63	40	9	5						
15		20-50																												
16		50-200	13	6	2	3	12	38	14	23	30	41	9	9	12	12	21	14	37	32	24	24	45	42						
17		200-2000	5	✓	1	8	✓	2	3	1	2	1	✓	7	6	7	41	64	3	✓	✓	✓	14	16						
18	%Tierra Fina																													
19	EXTRACTO DE SATURACION SALES SOLUBLES	Textura	FAL	FAL	AL	FAL	FL	FL	FL	F	F	AL	A	A	A	FAL	F	FL	FL	FA	FA	FA	FA							
20		CE 10 ³	68	104	0.94	1.00	1.61	0.83	1.32	1.11	1.70	1.50	0.31	0.34	1.33	2.52	1.26	2.26	4.78	4.35	3.18	2.60	2.50							
21		Ca	4.8	1.2	0.2	0.3	0.88	0.3	1.3	2.1	2.5	6.2	4.5	3.4	4.5	4.5	15.8	2.8	2.0	1.5	3.2	3.0	1.5							
22		Mg	1.1	1.2	0.8	0.5	1.46	1.2	2.5	6.3	4.1	1.32	1.66	1.65	5.4	2.5	4.5	1.4	1.8	1.3	1.5	1.4	1.5							
23		K	6.54	8.26	0.02	0.08	0.04	0.42	0.03	0.04	0.03	0.02	0.56	0.58	0.08	0.04	0.16	0.16	0.21	0.16	0.39	0.49	0.31	0.52						
24		Na	7.48	6.80	9.44	14	16.0	6.56	9.20	3.82	5.20	3.8	1.58	1.3	3.3	4.16	0.15	1.2	6.12	3.82	4.02	4.12	2.60	3.79						
25		# Cat.	9.12	9.66	11.02	14.28	13.59	8.48	8.36	11.83	13.52	9.40	7.84	13.33	2.63	13.14	13.15	12.1	10.4	12.14	12.14	12.14	12.14	12.14						
26		# An.	4.35	9.60	0.15	0.50	1.00	3.16	1.23	1.19	1.48	3.41	7.29	13.90	2.65	16.4	3.23	1.94	4.45	5.00	6.28	4.45	4.00	4.00						
27		Cl	2.5	5.6	2.4	4.8	1.0	2.4	6.3	11.8	8.0	2.56	5.98	10.8	2.5	1.82	2.19	1.54	1.15	4.11	4.79	3.80	2.45							
28		SO ₄	0.05	1.6	1.75	1.0	2.0	1.7	3.0	3	3.3	6.5	1.5	3.0	1.8	6.4	7.5	1.80	1.65	1.8	1.95	1.65	1.50							
29	CO ₃	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
30	HCO ₃	6.0	7.5	7.0	9.7	10.0	4.2	3.0	3.1	2.5	0.85	0.70	0.50	0.25	1.8	1.4	1.0	5	5	5	5	5								
31	COM. INTERCAMBIABLE CAT. DE CAMBIO	S	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20							
32		Ca	2.00	2.00	1.44	1.26	0.45																							
33		Mg	1.16	1.19	2.50	2.65	1.52																							
34		K	1.4	1.4	1.60	1.29	0.58																							
35		Na	2.2	3.8	15.0	10.0	6.0																							
36		T	3.5	3.6	5.60	5.00	3.20																							
37		Na/T	6.2	9.8	21.0	20.0	2.50																							
38		Pz Os	3.25	7.00	6.25	1.12																								
39	Hum. Nat.	24	30	34	32																									
40	Dens. Ap.	1.1	1.1	1.1	1.12																									
41	Poros. Total	0.6	0.54	0.6	0.52																									
42	Hum. Pasta	52	52	31	56	43																								
43	Hum. Equiv.																													
44	% Marchitez																													
45	Agua Util																													
46	Veloc. Percolación	0.4	0.15	0	1.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.23	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	2.5	1.51	0.32	0.00	2.3										
47	Inf. Inicial																													
48	Inf. Const.																													
49	Altura Agua																													
50	Pres. 5 Horas																													
51	Prof. Penetración																													
52	Alt. del Agua																													

BIBLIOGRAFÍA

Abrisqueta, J.M.; Hernández-Sáez, A.; Alareón, J.J. and Lozano, M.A. 1991. Root growth dynamics of two tomato genotypes under saline conditions. *Suelo y Planta*. 1:351-361 pp.

Ahmad, J. & Bano, M. 1994. The effect of sodium chloride on the physiology of cotyledons and mobilization of reserve food in *Cicer arietinum*. *Pakistan Journal of Botany*, 24, 40–48 pp.

Alder, M. 2010. Políticas para la promoción de la soberanía alimentaria como medio de integración social. Plan Solidario: Viedma por una Economía de Autosostenimiento con Dignidad (Doctoral dissertation, EEA Valle Inferior).

Alvarez Jubetea, B; Arendtb, E.K. and Gallagera, E. 2010. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional glutenfree ingredients L. *Trends in Food Science & Technology. Vol. 21; 106-113 pp.

Ashraf, M. H. P. J. C., & Harris, P. J. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, 51 (2), 163-190 pp.

Ashraf, M. & Wahid, S. 2000. Time-course changes in organic metabolites and mineral nutrients in germinating maize seeds under salt (NaCl) stress. *Seed Science and Technology*, 28, 641–656 pp.

Ashraf, M. Y., & Wu, L. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13 (1), 17-42 pp.

Azcón Bieto J. & Talón M. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal (2ª edición) Ed. S.A. MCGRAW-HILL /Interamericana de España.

Ball M.C.; Butterworth J.A.; Roden, J.S.; Christian, R. & Egerton, J.J.G. 1994. Application of chlorophyll fluorescence to forest ecology. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 311-319 pp.

Barroso, L., & Jerez, E. (2000). Comportamiento de las relaciones hídricas en la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) al ser irrigadas con diferentes volúmenes de agua. *Cultivos Tropicales*, 21(3), 57-59 pp.

Basu, P.S.; Ali, M. & Chaturvedi, S.K. 2004. Adaptation of photosynthetic components of chickpea to water stress. 4th international crop science congress. Brisbane Australia, 26th Sep.-10th Oct. 2004.

Bayuelo Jiménez, J.; Debouck, D.G. & Plynch, J. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence and yield. *Crop Science*, 2003, vol. 43, 2135-2141 pp.

Bewley, J. & Black, M. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. 1994. Edition 2. SPRINGER US.

BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. *Computers and Electronics in Agriculture* 129. 2016. 44–55 pp.

Björkman T (2000) Buckwheat production. Guide to buckwheat production in the Northeast. Available online: <http://www.nysaes.cornell.edu/hort/faculty/bjorkman/buck/Buck.html>

Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential— are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56 (11), 1159-1168 pp.

Cabrera Marino, H. 2002. Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña. *Revista chilena de historia natural*, 75 (3), 625-637 pp. [2]

Campbell, C.G. 1997. Buckwheat: *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops (19) Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 95 pp.

Cao, Y.R.; Chen, S.Y. & Zhang, J.S. 2008. Ethylene signaling regulates salt stress response. *Plant Signaling Behav* 3:761–763 pp.

Casierra-Posada, F.; Ávila-León, O. & Riascos-Ortíz, D. 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. *Temas agrarios*, 60-71 pp.

Cawoy, V.; Lutts, S. & Kinet, J.M. 2006. Osmotic stress at seedling stage impairs reproductive development in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiologia Plantarum* 128, 689-700 pp.

Chachalis, D.; Korres, N. & Khah, E.M., 2008. Factors affecting seed germination and emergence of Venice mallow (*Hibiscus trionum*). *Weed Science*, 56, 509-515 pp.

Cogliatti, D.H.; Cataldi, M.F., & Iglesias, F. 2010. Estimación del área de las hojas en plantas de trigo bajo diferentes tipos de estrés abiótico. *agriscientia*, 27 (1) pp.

Cornic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. En: Baker N.R. & J.R. Boeyer. *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field*: 297-314 pp. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford, United Kingdom.

Coyoy, J.P. 2012. El agrónomo que quiso erradicar el hambre. <http://www.elperiodico.com.gt/es/20121021/obituarios/219492/> [27/09. 21:30 hs].

Cuartero, J. and Fernández Muñoz, R. 1999. Tomato and salinity. *Sci Hort*. 78:83-125 pp.

De la Cuadra, C.E.L.I.A. 1993. Germinación, latencia y dormición de las semillas. *Hojas Divulgadoras*, (3).

Delpérée, C; Kinet J.M & Lutts, S. 2003. Low irradiance modifies the effect of water stress on survival and growth-related parameters during the early developmental stages of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiologia Plantarum* 119, 211-220 pp.

Demming-Adams B. 1990. Carotenoids and photoprotection in plants: a role for the xanthophyll zeaxanthin. *Biochimica et Biophysica Acta* 1020: 1-24 pp.

Di Rienzo, J.A; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dionisi C.P. 2012. Área de Consolidación. Tecnología de los Agroalimentos. Cadena agroalimentaria de trigo sarraceno. Trabajo final de carrera de Ingeniería Agronómica Universidad Nacional de Córdoba.

Dionisi, C.P. 2013. Adaptación de trigo sarraceno en argentina: una alternativa repleta de beneficios. Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC). Nexo Agropecuario Vol. 1 - N° 1.

FAO. 2014. 1^{ra} Presentación de Diagnóstico Agricultura Irrigada. 18 de diciembre de 2014, Luis Beltrán, Río Negro, Argentina.

Florido Bacallao, M., & Bao Fundora, L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Cultivos Tropicales, 35 (3), 70-88 pp.

Flowers, T.J.; Gaur, P.M.; Gowda, C.L.; Krishnamurthy, L.; Samineni, S.; Siddique, K.H. and Colmer, T.D. 2010. Salt sensitivity in chickpea. Plant, Cell Environ. 33 (4):490-509 pp.

Funatsuki H, Maruyama-Funatsuki W, Fujino K, Agatsuma M (2000) Ripening habit of buckwheat. Crop Science 40, 1103-1108 pp.

Gang, Z & Yu, T. 1998. A primary study of increasing the production rate of buckwheat. In: Campbell, C & Przybylski, R. (Eds) Current Advances in Buckwheat Research, Proceedings of the 7th International Symposium on Buckwheat, Winnipeg, Manitoba, Canada, 12-14 August 1998, 18-23 pp.

García, A.; Dorado, M.; Pérez, I., & Montilla, E. 2010. Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de fotoasimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa L.*). Interciencia, 35 (1), 47-54 pp.

Golberg A.D.; Ruíz, M de A.; Quiroga, A., Fernández, O.A. 2011. ¿Qué le sucede a un cultivo cuando no llueve? Ed. INTA.

González, A. 2009. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. Agroecología, 4, 111-116 pp.

González, J.A. and F. Prado. 1992. Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.). Agrochimica, Vol. XXXVI N° 1-2: 101-108 pp.

González, L.M.; Argentel, L.; Zaldívar, N.Ramírez, R. 2005. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. Cultivos tropicales, 26 (4), 49-52 pp.

González, S.; Franeo, O.; Ramirez, C.; Ortega, H.; Quero, A. y Trejo, C. 2011. Germinación y crecimiento de alfalfa bajo condiciones salinas. Rev. Mex. Cienc. Agric. 2:169-174 pp.

González, Y.; Reino, J. & Machado, R. 2009. Dormancia y tratamientos pregerminativos en las semillas de *Leucaena spp.* cosechadas en suelo ácido. Pastos y Forrajes. 32 (4): 1-1 pp.

Guan LM. & Adachi T (1992) Reproductive deterioration in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) under summer conditions. Plant Breeding 109, 304-312 pp

- Hanci, F., & Cebeci, E. 2014. Investigation of proline, chlorophyll and carotenoids changes under drought stress in some onion (*Allium cepa L.*) cultivars. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (Özel Sayı-2), 1499-1504 pp.
- Hartung, W.; Sauter, A & Hose, E. 2002. Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where does it goes to? *J. Exp. Bot.* 53:27-32 pp.
- Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: an agronomic view. In: *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*. pp 237-282. Elsevier/ North Holland and Biomedical Press, Amsterdam.
- Hiroyuki, M.; Shinobu, I.; Takahisa, T.; Kouhei, M. 2005. Differences in Vegetative Growth Response to Soil Flooding between Common and Tartary Buckwheat. *Plant Production Science* 8:5, 525-532 pp.
- Horbowicz, M. & Obendorf, R.L. 2005. Fagopyritol accumulation and germination of buckwheat seeds matured at 15, 22, and 30° C. *Crop science*, 45 (4), 1264-1270 pp.
- ISTA - International Seed Testing Association. 2009. *International Rules for Seed Testing*. P.O. Basserdorf, CH-Switzerland. 300 pp.
- Jacobsen, S. E., & Bach, A.P. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Seed Science and Technology* (Switzerland), 26(2), 515-523 pp.
- Jacquemart, A.L.; Cawoy, V.; Kinet, J.M.; Ledent, J.F. , & Quinet, M. 2012. Is buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) still a valuable crop today. *European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 6, 1-10 pp.
- Jain, M.; Tiwary, S & Gadre, R. 2010. Sorbitol-induced changes in various growth and biochemical parameters in maize. – *Plant Soil Environ.* 56: 263-267 pp.
- Jamwal, A.; Puri, S.; Sharma, S.; Bhattacharya, S., & Dhindsa, N. 2015. Polyethylene glycol induced morphological changes in *Fagopyrum esculentum Moench* of Indian Himalayan Region. *Asian J Adv Basic Sci*, 3, 142-146 pp.
- Jones, R.A. 1986. High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica*, 35:575-582 pp.
- Jung, G.H., Kim, S.L., Kim, M.J. 2015. Effect of sowing time on buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) growth and yield in central Korea. *J. Crop Sci. Biotechnol.* **18**, 285–291. <https://doi.org/10.1007/s12892-015-0117-6>
- Kalinová, J.; Moudry, J.; & Curn, V. 2002. Technological quality of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*). *Rostlinna výroba*, 48 (6), 279-284 pp.
- Kaur, M.; Kawaljit, S.; Arora, A.; Sharma, A. 2015. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *LWT - Food Science and Technology* Volume 62, Issue 1, Part 2, June 2015, 628-632 pp.
- Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *J. Anim. Plant Sci*, 8 (3), 1051-1060 pp.

- Khan, M.A., & Rizvi, Y. 1994. Effect of salinity, temperature and growth regulators on the germination and early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. Canadian Journal of Botany, 72, 475–479 pp.
- Kirby, J. M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. Field Crops Research 35: 101-111 pp.
- Koger, C.H.; Reddy, K.N.; Poston D.H. 2004. Factors affecting seed germination, seedling emergence, and survival of texasweed (*Caperonia palustris*). Weed Science, 52, 989-995 pp.
- Körber -Grohne, U. 1987. Nutzpflazen in Deutschland: Kulturgeschizhte und Biologie. Stuttgart: Thesis.Google Scholar.
- Kpyoarissis, A.; Petropoulou, Y& Manetas, Y, 1995. Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa*, *Labiatae*) under Mediterranean field conditions: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. Journal of Experimental Botany 46: 1825–1831 pp.
- Kramer, P. 1987. Relaciones hídricas de suelos y plantas: una síntesis moderna. México, Offset. Rebozan, S.A. 538 pp.
- Kuroda, M.; Oaiawa, T. and Imagawa H. 1990. Changes in chloroplast peroxidase activities in relation to chlorophyll loss in barley leaf segments. Physiologia plantarum. 80:555-560 pp.
- Lakhanov. A.P. 1991. Efficiency of water consumption by buckwheat varieties with varying water supply to plants in southern nonchernozem zone of RSFSR. Doklady Vsesoyuznoi Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk 10, 5- 8 pp.
- Larher, F.; Leport, L.; Petrivalsky, M. & Chappart, M. 1993. Effectors for the osmoinduced proline response in higher plants. Plant physiology and Biochemistry 31: 911-922 pp.
- Latowski, D.; Grzyb, J., & Strzałka, K. 2004. The xanthophyll cycle-molecular mechanism and physiological significance. Acta Physiologiae Plantarum, 26 (2), 197 pp.
- Lim, J.H.; Park, K.J.; Kim, B.K.; Jeong, J.W., & Kim, H.J. 2012. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. Food Chemistry, 135 (3), 1065-1070 pp.
- Lin, Y.; Wang, J.; Zu, Y. & Tang, Z. 2012. Ethylene antagonizes the inhibition of germination in Arabidopsis induced by salinity by modulating the concentration of hydrogen peroxide. Acta physiologiae plantarum, 34, 1895-1904 pp. doi: 10.1007/s11738-012-0989-8
- Maggio, A.; Hasegawa, P.M.; Bressan, R.A.; Consiglio, M.F. and Joly, R.J. 2001. Unravelling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance. Australian J. Plant Physiol. 28:999-1004 pp.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 2:176-177 pp.
- Mahdavi, B.; Seyed, A.M., & Modarres, S. 2007. Nodulation and Root Traits in Four Grasspea (*Lathyrus sativus*) Ecotypes under Root-Zone Temperatures. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10 (8), 1243-1249 pp.

Majumdar, S.; Ghosh, S.; Glick, B.R. and E.B., Dumbroff. 1991. Activities of chlorophyllase, phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1, 5 - biphosphate carboxylase in the primary leaves of soybean during senescence and drought. *Physiologia plantarum*. 81:473-480 pp.

Pineda, M. 2017. *Resúmenes de Fisiología Vegetal*. Editorial Universidad de Córdoba.

Masotta, H.T. 1970. Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII Valle Inferior del Rio Negro, Argentina. P 98 en Serie Técnica N° 05. Imprenta: imprenta del instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Rio Negro- IDEVI, 30 de oct de 1973.

Mayer A.M. & Poljakoff- Mayber, A. 1982. *Germination of seeds*. London: Pergamon Press., 1982, 212 pp.

Mayer, A.M & Poljakoff – Mayber, A. 1975. *The Germination of Seeds*. In: Wareing P.F and A.Y. Galston (General Editors), Second Edition. Vol 5. Cap. 3: 21-45 pp.

Mayoral, M.L.; Atsmon, D.; Shimshi, D., & Gromet-Elhanan, Z. 1981. Effect of water stress on enzyme activities in wheat and related wild species: carboxylase activity, electron transport and photophosphorylation in isolated chloroplasts. *Functional Plant Biology*, 8 (5), 385-393 pp.

Mennan, H & Ngouajio, M. 2006. Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*). *Weed Science*, 54, 114–120 pp.

Michel, B.E. & M.R. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of Polyetilene Glycol 6000. *Plant Physiol*, 51, 914-916 pp.

Mishra, S.; Srivastava, S.; Tripathi, R.D.; Govindarajan, R.; Kuriakose, S. V. & Prasad, M.N.V. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri L.*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(1), 25-37pp.

Montaldi, E.R. 1995. *Principios de Fisiología Vegetal*. Ediciones Sur.

Morgan, J. 2004 Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2004, vol. 34, N° 6, 607-614 pp.

Myers, R.L. and Meinke, L. J. 1994. Buckwheat: A multi-purpose, short-season alternative. University of Missouri Extension Bulletin G4306. Available at: <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=G4306>. (accessed 4 Sept 2014). University of Missouri, Columbia, MO.

Napoli G. 1994. Trigo sarraceno. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Belgrano, 1 – 72 pp.

Ojeda-Silvera, C., Murillo-Amador, B., Reynaldo-Escobar, I., Troyo-Diéguez, E., Ruiz-Espinoza, F. Higinio, & Nieto-Garibay, A. 2013. Estrés hídrico en la germinación y crecimiento de plántulas de genotipos de albahaca *Ocimum basilicum L.* *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(2), 229-241. Recuperado en 24 de diciembre de 2019, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200004&lng=es&tlng=es.

Parida, A.K., & Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60 (3), 324-349 pp.

Parker J & Taylor H.M. 1965. Soil strength and seedling emergence relations. I. Soil type, moisture tension and planting depth effects. *Agron J.* 1965; 57:289–291 pp.

Pavek, P.L.S. 2016. Plant Guide for buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Pullman Plant Materials Center. Pullman, WA.

Pece, M.; Gaillard, C.; Acosta, M.; Bruno, C. & Saavedra S. 2010. Tratamientos Pregerminativos para Tipa Colorada (*Pterogyne nitens* Tul.). *Recursos Genéticos Forestales. México. Foresta Veracruzana* 12 (1): 17-25 pp.

Pérez, R.; Rodríguez, J.L. y Ortega, M. 1990. Efecto de la salinidad y sequía en quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) *Agrociencia - Fitociencia* Vol. 1. N° 4. México. 15-37 pp.

Popinigis, F. 1985. *Fisiología da Semente*. 2° Ed. Brasilia D.F. 289 pp.

Prakash, S., & Deshwal, S. (2013). Alpha and beta amylase activity of *Fagopyrum esculentum* (Buckwheat): a medicinal plant. *Janaki Medical College Journal of Medical Science*, 1(1), 53-58 pp.

Probert, R. 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. 261-292 pp. En: Fenner, M. (ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Wallingford, UK.

Quichán, S.; Martínez, R.; Martínez, R.M.; Esquercia, W.; Lui, E. & Mazzieri, J.; “Riego por aspersión en la Norpatagonia y sus efectos sobre las propiedades del suelo”, 2015/2016. *Revista pilquen Sección Agronomía*. N° 15. ISSN N° 1851-2852.

Raimondo, J.G. 2015. Efecto de la profundidad de siembra sobre la germinación de aquenios de saetilla (*Bidens pilosa* L.). *Revista Agronómica del Noreste Argentino*.

Ranal, N.A. & Garcia de Santana, D. 2006. How and why to measure the germination process? *Rev. Bras. Bot. São Paulo*. 29 (1).

Ratan, P. & Kothiyal, P. 2011. *Fagopyrum esculentum* Moench (common buckwheat) edible plant of Himalayas: A review. *Asian Journal of Pharmacy and Life Science*; 1 (4): 426-442 pp.

Reyes-Pérez, J.J.; Murillo-Amador, B.; Nieto-Garibay, A.; Troyo-Diéguez, E.; Reynaldo-Escobar, I.M., & Rueda-Puente, E.O. 2013. Germinación y características de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés salino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4 (6), 869-880 pp.

Rhoades, J.D. 1997. Sustainability or irrigation: An overview of salinity problems and control strategies. *Annual Conference: Footprints of Humanity. Reflection on fifty years of water resource developments*. Lethbridge, Alberta, Canada, 3-6 of June, 1-42 pp.

Ross, AM; Lembi, AC. 1999. Applied weed science. In: Prentice Hall. ed. Characteristics, biology and importance of weeds. Second Edition. U. S. A. 452 pp.

Sakata, K., & Ohsawa, R. 2005. Effect of flooding stress on the seeding emergence and the growth of common buckwheat. Japanese Journal of Crop Science (Japan).

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. (1994). Fisiología Vegetal. Grupo Ed. Iberoamérica.

Seba, N.; Doñate, M.T.; Hartmann, B.S.; Baffoni, P.; Muzi, E.; Cecchini, V., & Bezic, C. 2017. Producción hortícola diversificada en el Valle Inferior del Río Negro. Modelos socio-productivos vigentes y su potencial para la intensificación ecológica. X Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Argentinos y Latinoamericanos. Bs. As.

Segura-Castruita, M.Á.; Ramírez-Seañez, A.R.; García-Legaspi, G.; Preciado-Rangel, P.; García-Hernández, J.L.; Yescas-Coronado, P., & Montemayor-Trejo, J.A. 2011. Desarrollo de plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. Revista Chapingo. Serie horticultura, 17 (SPE1), 25-31 pp.

Shalhevet, L., & Hsiao, T. C. 1986. Salinity and droughts a comparison of their effects on osmotic adjustment, assimilation, transpiration and growth. Irrigation Science, 7, 249–264 pp.

Sharp, R.E.; Silk, W.K. y & Hsiao, T. C. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. I. Spatial distribution of expansive growth. Plant Physiol 87, 50-57 pp.

Singh, V. P., Mall, S. L. 1977. Seed germination studies in *Fagopyrum esculentum Moench*. 1. Role of light and temperature. In Proc. Indian Natl. Sci. Acad., Part B Biol Sci.

Sumanta, N.; Haque, C.I.; Nishika, J., & Suprakash, R. 2014. Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. Research Journal of Chemical Sciences ISSN, 2231, 606X.

Tolosa, F. 2013. Germinación, establecimiento y desarrollo de plántulas de grama rhodes (*Chloris gayana*) en condiciones de deficiencia hídrica. Tesis de grado de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Ulehla, J. 1961. Correlative inhibition of formation of chlorophyll in the leaves of etiolated peaplants. Nature 191:613414.

UNEP—United Nations Environment Programme. 1992. World Atlas of Desertification. London. 69. Inocêncio J.J.F. Pereira, Flávio Rodrigues do Nascimento. Susceptibility to Desertification in Chicualacuala, Republic of Mozambique.

Valladares F.; Vilagrosa A.; Peñuelas J.; Ogaya R.; Camarero J.J.; Corcuera L.; Sisó S. y Gil-Pelegrín E. 2004. Estrés hídrico: Ecofisiología y escalas de la sequía. Capítulo 6. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio del Medio Ambiente, EGRAF, SA. Madrid. 163-190 pp.

Vázquez de Aldana, B.R.; Álvarez Pascua, A. García Criado, B. 2011. Efecto de la profundidad de siembra en la emergencia de especies pratenses.

Villa-Castorena, M.; Catalán-Valencia, E.A.; Arreola-Ávila, J.G.; Inzunza-Ibarra, M.A., & López, A.R. 2011. Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17 (SPE), 183-193 pp.

Villamil, J.M.P., & García, F.P. 1998. Germinación de semillas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Estructuras. https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf.

Vincent, B.; Wu, J.; Vidal, A.; Yang, J.; Bouarfa, S.; Tong, J. 2006. The environmental evolvement of the Hetao irrigation district: an equilibrium between the combat facing irrigation induced soil salinity and the respect of the receiving media. 18th World Congress of Soil Science (July 9-15, 2006). Philadelphia, USA.

Wang, Y; Wang, T; Li, K & Li, X. 2008. Genetic analysis of involvement of ETR1 in plant response to salt and osmotic stress. Plant Growth Regul. 54:261–269 pp.

Yang, L; Zu, Y. & Tang, Z. 2010. Ethylene improves Arabidopsis salt tolerance mainly via retaining K⁺ in shoots and roots rather than decreasing tissue Na⁺ content. Environ. Exp. Bot. doi: 10.1016.

Zhang, J.; Tang, M & Viikari, L. 2012. Xylans inhibit enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials by cellulases. Bioresource Technology. Volumen 121, October 2012, 8-12 pp.