

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“MANEJO DE ESTRÉS HÍDRICO EN SANDÍA (*Citrullus lanatus*) PARA
LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS HÍBRIDAS COMERCIALES BAJO
CONDICIONES DE CASA MALLA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

ROSSEMARY MASSIEL SALAZAR HUAMANÍ

LIMA – PERÚ

2023

TSP

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.upr.edu Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
5	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	agriculturers.com Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1%
9	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**"MANEJO DE ESTRÉS HÍDRICO EN
SANDÍA
(*Citrullus lanatus*) PARA LA PRODUCCIÓN
DESEMILLAS HÍBRIDAS COMERCIALES
BAJO CONDICIONES DE CASA MALLA"**

Rossemery Massiel Salazar Huamaní

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz
PRESIDENTE

.....
Ing. Mg. Sc. Flavio Lozano Isla
ASESOR

.....
Dra. Ruby Antonieta Vega Ravello
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Sarita Maruja Moreno Llacza
MIEMBRO

**LIMA – PERÚ
2023**

Dedicado a:

Michelli, mi mamá, por ser mi ejemplo de fuerza, constancia, trabajo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, mi hermano y mi familia, por estar siempre presente en cada uno de los pasos que doy, por todo el apoyo y su amor incondicional.

A Daniel Arias, por el cariño y motivación constante en la realización del presente trabajo.

Al profesor Flavio Lozano, por sus indicaciones y correcciones para poder realizar el presente trabajo de la mejor manera.

A mi querida Universidad Nacional Agraria La Molina, lugar donde aprendí a desarrollarme como persona y como profesional.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	PROBLEMÁTICA	1
II.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	OBJETIVO GENERAL	2
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1.	EL CULTIVO DE SANDÍA	3
3.1.1.	Origen.....	3
3.1.2.	Clasificación taxonómica	3
3.1.3.	Morfología.....	4
3.1.4.	Fenología del cultivo	6
3.1.5.	Requerimientos del cultivo	7
3.2.	RIEGO	10
3.2.1.	Parámetros.....	11
3.2.2.	Riego presurizado.....	12
3.2.3.	Tensiómetros	14
IV.	DESARROLLO DEL TRABAJO	18
4.1.	MANEJO AGRONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE SANDÍA.....	18
4.1.1.	Siembra	18
4.1.2.	Preparación de terreno e instalación de casa malla.....	19
4.1.3.	Trasplante	21
4.1.4.	Despunte	22
4.1.5.	Enrafiado	23
4.1.6.	Preparación	23
4.1.7.	Hibridación	25
4.1.8.	Maduración	27
4.1.9.	Cosecha.....	29
4.2.	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN PARA DECISIONES DE RIEGO	31
4.2.1.	Registro de tensiones	31
4.2.2.	Registro textural.....	33
4.3.	MANEJO DE RIEGO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL CULTIVO DE SANDÍA	34
4.3.1.	Riego en almácigo.....	34
4.3.2.	Riego de machaco	34
4.3.3.	Riego de pega.....	36

4.3.4. Riego de desarrollo de la planta	36
4.3.5. Riego pre-polinización	37
4.3.6. Riego durante hibridación	41
4.3.7. Riego durante el crecimiento del fruto	42
4.3.8. Fin de riego durante cosecha	44
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
5.1 MEJORA EN EL AHORRO DE AGUA	45
5.2 MEJORA EN EL RENDIMIENTO DE LAS SEMILLAS	45
5.3 MEJORA EN EL IMPACTO AGRONÓMICO.....	46
5.4 MEJORA DE OPORTUNIDADES COMERCIALES	46
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. RECOMENDACIONES.....	48
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Etapas fenológicas de la sandía (<i>Citrullus lanatus</i>)	7
Tabla 2: Coeficiente de cultivo Kc en las etapas de desarrollo de la sandía.....	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Manejo agronómico y etapas de desarrollo del cultivo de sandía.....	9
Figura 2: Patrones de infiltración según la textura del suelo	11
Figura 3: Riego por goteo con cintas de riego	12
Figura 4: Bulbo húmedo	13
Figura 5: Instalación de tensiómetros entre plantas	17
Figura 6: Tensiómetro con burbujas	17
Figura 7: Bandeja almaciguera con plantines de sandía y tarjeta de identificación	18
Figura 8: Preparación del terreno.....	19
Figura 9: Instalación de palos de pinos para la estructura de la casa malla.....	20
Figura 10: Mullido de camas	21
Figura 11: Camas hoyadas listas para el trasplante	21
Figura 12: Labor de enrafiado	23
Figura 13: Poda para preparación de plantas	24
Figura 14: Plantas de sandía preparadas, limpias y guiadas	24
Figura 15: Proceso de emasculación.....	26
Figura 16: Botón emasculado (sobre rojo con franjas) y botón polinizado (sobre blanco)	27
Figura 17: Desarrollo de frutos (8 - 10 días de polinización).....	28
Figura 18 : Frutos enmallados.....	29
Figura 19: Fruto caído por falta de enmallado.....	29
Figura 20: Frutos guardados en zona de trilla.....	30
Figura 21: Frutos marcados por roguing.....	31

RESUMEN

La sandía (*Citrullus lanatus*) es un cultivo de importancia comercial por sus particulares características y lo bien que se adapta a las condiciones climatológicas de nuestro país, por este motivo, el incremento en su producción ha dado paso a un nuevo rubro en el que la producción de semillas híbridas comerciales es un mercado llamativo para diferentes empresas privadas para la producción de variedades híbridas bajo nuestras condiciones. El presente trabajo tiene como objetivo definir el correcto manejo hídrico que se realiza para la producción de semillas híbridas comerciales de sandía bajo condiciones de casa malla, debido a que este cultivo cuenta con etapas fenológicas diferenciadas y labores agronómicas muy marcadas durante todo su ciclo de vida por lo que se requiere garantizar un manejo de riego adecuado para cada una de sus etapas fenológicas. El riego se definió según la humedad del suelo, la cual se monitorea a través de la lectura de los datos de los tensiómetros instalados en el suelo. Con la información de los tensiómetros se generaron periodos de estrés en la etapa de polinización para asegurar un desarrollo de las semillas en el fruto. El estrés hídrico que se generó concentra la oferta de botones florales para acortar los días de polinización y obtener mejores rendimientos en gramos por fruto.

Palabras clave: Hibridación, humedad, riego, tensiones.

ABSTRACT

Watermelon cultivation (*Citrullus lanatus*) is commercially important due to its specific characteristics and how well it adapts to the climatic conditions of our country. Therefore, the increase in producing it has led to a new sector in which the commercial production of hybrid seeds is an appealing market for diverse private companies to produce varietal hybrids under our conditions. This research work aims to define the adequate water resources management carried out to produce commercial hybrid seeds of watermelon under net house conditions as this cultivation has differentiated phenological stages and very marked agronomic tasks during its lifecycle; thus, adequate water resource management is required for each phenological stage. Irrigation was defined according to soil moisture, which is monitored through the reading of data collected by tensiometers installed in the soil. With the information of tensiometers, stress periods were generated in the pollination stage to guarantee the development of seeds in the fruit. The hydric stress generated increases the offer of flower buds to shorten pollination days and obtains a greater volume of throughput of grams per fruit.

Keywords: Hybridization, irrigation, moisture, tensions.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura en nuestro país ha crecido de manera exponencial en diferentes cultivos, en base a esta situación se han abierto también nuevos mercados debido a la exigencia de los consumidores, siendo así el mercado de la producción de semillas híbridas comerciales para exportación uno de ellos, ya que una semilla híbrida puede cumplir con las características determinadas que el cliente requiera.

Según el reporte de la Asociación de Exportadores (ADEX), “Impacto de las exportaciones, entre enero y agosto de 2022, los empleos vinculados a las exportaciones peruanas tuvieron un crecimiento de 18.1%.” El sector agroexportador fue el más importante, generando 1 millón 22 mil 537 de estas posiciones laborales.

En base a este panorama, diferentes empresas privadas realizan sus operaciones en nuestro país para la producción de semillas híbridas de diferentes hortalizas, como es el caso de la sandía (*Citrullus lanatus*), un cultivo que se adapta muy bien a nuestras condiciones, teniendo un periodo de vida corto y con estados fenológicos diferenciados en cuestión del desarrollo de las semillas, ya que no se busca como producto final un fruto maduro, sino una semilla de pureza y calidad genética.

Para lograr una semilla de calidad, el manejo adecuado del riego es fundamental en los diferentes estados de desarrollo de este cultivo, debido a que no se utiliza un riego convencional como cuando se quiere obtener sandía para consumo, la diferencia en el manejo para el desarrollo de las semillas híbridas es un estrés hídrico inducido con el fin de generar mayor producción de semillas en un solo fruto.

1.1. PROBLEMÁTICA

En el presente trabajo podemos ver el uso eficiente del recurso hídrico en la producción de semillas de sandía, garantizando un manejo de riego adecuado en cada una de las etapas del desarrollo del cultivo bajo condiciones de casa malla.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Describir el requerimiento hídrico óptimo de sandía (*Citrullus lanatus*) para el incremento de la producción de semillas en híbridos comerciales bajo condiciones de casa malla.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el manejo adecuado de los requerimientos hídricos de cada una de las etapas de desarrollo del cultivo para incrementar la producción de semillas (gramos/planta) en sandía (*Citrullus lanatus*).
- Explicar el manejo de riego a través de la colecta de datos para maximizar la producción de semillas (gramos/planta) en sandía (*Citrullus lanatus*).

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. EL CULTIVO DE SANDIA

3.1.1. Origen

Se cree que las sandías son originarias de África y crecen en la naturaleza. La historia del cultivo se remonta a más de 4.000 años. La sandía se domesticó originalmente en África, pero la India se considera el segundo centro de su diversificación.

Se extendió desde África a la India alrededor del año 800 d.C., y a China y el sur de Rusia alrededor del 1100 d.C. Las sandías ya existían en el antiguo Egipto antes del año 2000 a.C. Es conocido allí y se cultiva desde hace cientos de años en zonas alrededor del mar Mediterráneo. Probablemente fue llevado al sur de Europa por los moros cuando conquistaron España. Luego fue llevado al Nuevo Mundo por africanos y europeos. (Fornaris, 2015).

3.1.2. Clasificación taxonómica

Según APG III (2009), la sandía (*Citrullus lanatus*) presenta la siguiente clasificación taxonómica.

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novale ex Takht.

Superorden: Rosanae Takht.

Orden: Cucurbitales Juss. Ex Bercht & J. Presl.

Familia: Cucurbitaceae Juss.

Género: *Citrullus* Schrad.

Especie: *Citrullus lanatus* (Thun.) Mansf.

3.1.3. Morfología

- **Raíces**

Las raíces están muy extensas, pero no son tan profundas, presenta una raíz pivotante y muchas raíces laterales o secundarias (Juarez, 2008).

El sistema de raíces es extenso, pero en la mayoría de los casos es poco profundo. En condiciones ideales, las raíces pueden penetrar el suelo hasta una profundidad de 4 pies o más. Sin embargo, en la práctica, el uso de plantas trasplantadas para la siembra y las características físicas del suelo pueden limitar las posibilidades de su desarrollo. Entre otros, el suelo (por ejemplo, suelo compactado) y el método de riego (por ejemplo, riego corto). Como otros tipos de melones y calabazas, su sistema radicular está muy extendido y desarrolla una fuerte ramificación, situándose la mayoría de las raíces en los primeros 60 cm del suelo. Se estima que la actividad máxima de absorción de agua por las raíces ocurre en los primeros 20 a 30 cm de profundidad del suelo. (Fornaris, 2015).

- **Tallo**

Los tallos de la planta de sandía son delgados y presentan vellosidades o tricomas, tienen una forma angular y exhiben hendiduras superficiales. En cada nudo a lo largo del tallo, se pueden observar zarcillos ramificados. Estos tallos suelen ser ramificados y pueden crecer hasta una longitud de 10 metros en algunas variedades. Sin embargo, existen variedades enanas con genes como dw-1 y dw-2, que tienen guías de longitud reducida y son ligeramente menos ramificadas en comparación con las variedades estándar (Juarez, 2008).

- **Hojas**

Por lo general, las hojas de la planta de sandía son pinnati-partidas, lo que significa que están divididas en tres o cuatro pares de lóbulos profundos. Estos lóbulos a su vez tienen divisiones adicionales y bordes dentados, con los segmentos ensanchados en la parte superior. Las hojas tienen una longitud que oscila entre cuatro y ocho pulgadas (10 a 20 cm) y están cubiertas de finos vellos. Los peciolos, que son las estructuras que conectan las hojas al tallo, son considerablemente más cortos en comparación con la longitud de las hojas (Fornaris, 2015).

- **Flores**

La sandía es una planta generalmente monoica, lo que significa que en una misma planta se encuentran flores masculinas (llamadas estaminadas) y flores femeninas (llamadas pistiladas). En comparación con las flores de otras plantas de la familia de las cucurbitáceas, las flores de la sandía son más pequeñas y menos vistosas. Son de color amarillo y tienen un diámetro de 1 a 1.5 pulgadas (2.5 a 4.0 cm) y aparecen solitarias en las axilas de las hojas. La proporción entre las flores masculinas y femeninas puede variar según la variedad de sandía que se cultive y las condiciones ambientales, como la temperatura y la luz. Cada flor se abre solo por un día, generalmente temprano en la mañana, dentro de la primera o segunda hora después del amanecer. En la base de la flor femenina se puede observar el ovario expuesto, que tiene la forma de una pequeña fruta. Este ovario crece y se desarrolla después de la polinización de la flor. Si ocurre una polinización inadecuada o si la planta lleva una carga de frutas excesiva, la flor puede abortar. Las frutas que no fueron bien polinizadas y no abortaron suelen desarrollarse de manera deformada (Fornaris, 2015).

Las flores pistiladas de la sandía presentan un ovario en la parte inferior de la flor, cuyas dimensiones y configuración están asociadas con las características finales de la fruta en términos de su tamaño y forma (Juarez, 2008).

- **Frutos**

El fruto indehisciente, como la sandía, se clasifica como un pepónide o falsa baya, debido a su origen en un ovario inferior, a diferencia de las bayas que se originan en ovarios superiores. En el caso de las pepónides, como la sandía y el zapallo, la "cáscara" forma parte del receptáculo o tallo que inicialmente sostiene a la flor. La pulpa o pericarpio es carnosa y se forma a partir de la fusión de tres carpelos con el receptáculo adherido. La corteza tiende a ser gruesa y está compuesta por el receptáculo (que en la etapa de flor es el pedicelo), siendo quebradiza y variada en color. Puede ser de un verde completo en varios tonos, o presentar líneas de diferentes matices de verde. En cuanto a la forma, el fruto suele ser redondeado, aunque también se encuentran variedades ovaladas o cilíndricas con extremos achatados, e incluso gracias a las técnicas de cultivo, algunos pueden tener una forma cuadrada. La corteza es dura y lisa, con un grosor que varía entre 0.5 y 4 cm. (Crawford, 2017).

La sandía es conocida por su gran tamaño, ya que puede alcanzar más de 20 kg y tener un diámetro de hasta 30 cm. Sin embargo, debido a las cambiantes preferencias de los consumidores, los cultivadores tienden a producir sandías con un peso más moderado, que generalmente oscila entre 3 y 8 kg. Incluso hay una tendencia a reducir aún más el tamaño de los frutos, llegando a producir sandías de 2 kg o incluso menos, para satisfacer las demandas del mercado (Crawford, 2017).

La pulpa de la sandía es dulce y suele ser de color rojo, aunque en algunas variedades puede ser de color amarillo. El tono rojo se debe a la presencia del pigmento licopeno, mientras que el color amarillo se debe en su mayoría al betacaroteno y a las xantofilas. La pulpa, o el tejido comestible, corresponde a lo que se conoce como el endocarpo o placenta de la fruta, lo que significa que las semillas de la sandía se encuentran encajadas dentro y entre la pulpa (Fornaris, 2015).

- **Semillas**

Las semillas de sandía presentan una amplia variedad en cuanto a color, que puede ir desde blanco, crema, verde, marrón, rojo hasta negro, y algunas incluso tienen manchas o rayas. El tamaño de las semillas también varía considerablemente, con longitudes que oscilan entre 0.2 y 0.6 pulgadas (5 a 15 mm). Por lo general, las semillas son aplanadas, con una superficie lisa y tienen forma elipsoidal, siendo más delgadas en el lado del "hilo". Estas características de las semillas pueden ayudar en cierta medida a identificar la variedad de sandía. El número estimado de semillas por unidad de peso varía según el tamaño de la semilla. En el caso de variedades con semillas pequeñas, se estima que hay alrededor de 8,000 a 10,000 semillas en una libra (454 g). En el caso de variedades con semillas grandes, se estiman alrededor de 3,000 a 5,000 semillas en una libra (Fornaris, 2015).

3.1.4. Fenología del cultivo

En la siguiente tabla se observa las etapas de la fenología del cultivo de Sandía, para la producción de semillas híbridas comerciales, el ciclo completo de crecimiento oscila entre 95 y 110 días (Paredes, 2017).

Las duraciones estimadas para cada etapa son las siguientes:

Tabla 1: Etapas fenológicas de la sandía (*Citrullus lanatus*)

Etapas fenológicas	Días desde la siembra
Germinación	5 - 6
Inicio de emisión de guías	18 - 23
Inicio de floración	25 - 28
Plena flor	35 - 40
Maduración de fruto	45 - 95
Fin de cultivo	105 - 110

Fuente: Paredes (2017)

3.1.5. Requerimientos del cultivo

- **Temperatura**

La temperatura desempeña un papel fundamental en todas las funciones vitales de las plantas, que incluyen la germinación, la transpiración, la fotosíntesis, la floración y muchas otras. Cada especie vegetal y cada etapa de su ciclo de vida tienen una temperatura óptima específica. En el caso de la sandía, es menos exigente en términos de temperatura en comparación con el melón. Además, es importante notar que los cultivares de sandía triploides suelen tener requisitos de temperatura más elevados que las variedades normales. (Crawford, 2017).

El cultivo prefiere un clima cálido y seco con temperaturas medias diarias de 22 a 30°C. Las temperaturas máximas y mínimas de crecimiento son de unos 35 y 18°C respectivamente. El cultivo es muy sensible a las heladas. La duración del período total de crecimiento oscila entre 80 y 110 días, según el clima (FAO, 2022).

La temperatura juega un papel crucial en la formación de las flores desde el inicio del desarrollo hasta que se abren. Las temperaturas bajas pueden detener el desarrollo de las flores masculinas después de que se han formado, lo que resulta en una aparición temprana de flores femeninas. Para que se produzca la formación de frutos, la temperatura ideal debería ser de alrededor de 21 °C. La maduración de los frutos se produce en un rango de temperatura que va desde los 20 °C hasta los 30 °C. (Crawford, 2017).

- **Radiación y largo del día**

La sandía se clasifica como una planta de tipo C3 en términos de su fotosíntesis. La edad de la planta y la cantidad de luz disponible son factores que afectan la tasa de fotosíntesis neta. La intensidad de la luz tiene un impacto significativo en la madurez de los frutos, particularmente en lo que respecta al nivel de dulzura que alcanzan (Crawford, 2017).

La sandía requiere una alta intensidad de luz para alcanzar su máxima capacidad de fotosíntesis. Idealmente, la radiación lumínica debería ser de al menos 1,1 calorías por centímetro cuadrado por minuto (cal/cm²/min), y es importante evitar situaciones de sombra siempre que sea posible. Aunque el crecimiento de la planta no está fuertemente influenciado por la duración del día, se ha observado que el desarrollo de las flores femeninas se favorece más en días con duraciones más cortas, alrededor de 8 horas de luz, en comparación con días largos de 16 horas de luz (FAO, 2002).

- **Humedad**

La humedad relativa óptima para el desarrollo de la planta de sandía se encuentra en el rango de 65% - 75%. Sin embargo, durante las etapas de floración, se recomienda mantener la humedad relativa entre 60% - 70%, y para la fructificación, es aconsejable mantenerla en el rango de 55% - 65%. Ajustar la humedad relativa de acuerdo con estas recomendaciones puede contribuir al crecimiento y desarrollo saludable de la planta de sandía a lo largo de su ciclo de vida (Alvarado, 2008).

La humedad relativa ideal para el cultivo de la sandía se sitúa en el rango de 60% a 80%. Esta humedad desempeña un papel crucial durante la etapa de floración, ya que, con un mínimo de 50% de humedad relativa, se facilita la apertura de las anteras, su dehiscencia y el proceso de polinización. Por otro lado, para la maduración del fruto, se prefiere un ambiente que no sea excesivamente húmedo, lo que puede favorecer el proceso de maduración de manera más efectiva (Crawford, 2017).

- **Edáficos**

La sandía se cultiva de manera óptima en suelos que son neutros o ligeramente alcalinos. Es importante destacar que es sensible a la presencia de sales en el suelo, por lo que se prefiere cultivarla en suelos que tengan una conductividad eléctrica no mayor de 2 mmhos/cm. Esta

planta prospera de manera más efectiva en suelos de tipo franco-arcillosos que tengan un buen drenaje y no retengan agua en exceso. Además, se beneficia de suelos ricos en materia orgánica y con un rango de tolerancia de pH que abarca desde 5.5 hasta 7.5 (Crawford, 2017).

Las sandías no son particularmente exigentes en cuanto al tipo de suelo, pero se obtienen los mejores resultados en términos de rendimiento y calidad cuando se cultivan en suelos que son ricos en materia orgánica, profundos, bien aireados y con un buen sistema de drenaje. Prefieren un rango de pH que esté entre 6 y 7. Son plantas que son extremadamente sensibles a problemas de mal drenaje en el suelo. En cuanto a la presencia de sales en el suelo y en el agua de riego, las sandías son moderadamente tolerantes. Los valores máximos aceptables son de 2.2 dS/m en el suelo y 1.5 dS/m en el agua de riego (Escalona et al., 2009).

El cultivo de sandía prefiere suelos con una textura franco arenosa y un rango de pH que oscile entre 5.8 y 7.2. El cultivo en suelos de textura pesada, en cambio, tiende a tener un desarrollo más lento y puede resultar en frutos agrietados (FAO, 2022).

- **Hídricos**

Los requerimientos de agua de la sandía se evalúan utilizando el coeficiente de cultivo (K_c), y estos requisitos varían en función de la etapa de desarrollo de la planta. En otras palabras, el volumen de agua que la planta de sandía necesita extraer del suelo difiere a medida que avanza en su crecimiento y desarrollo. (FAO, 2022).

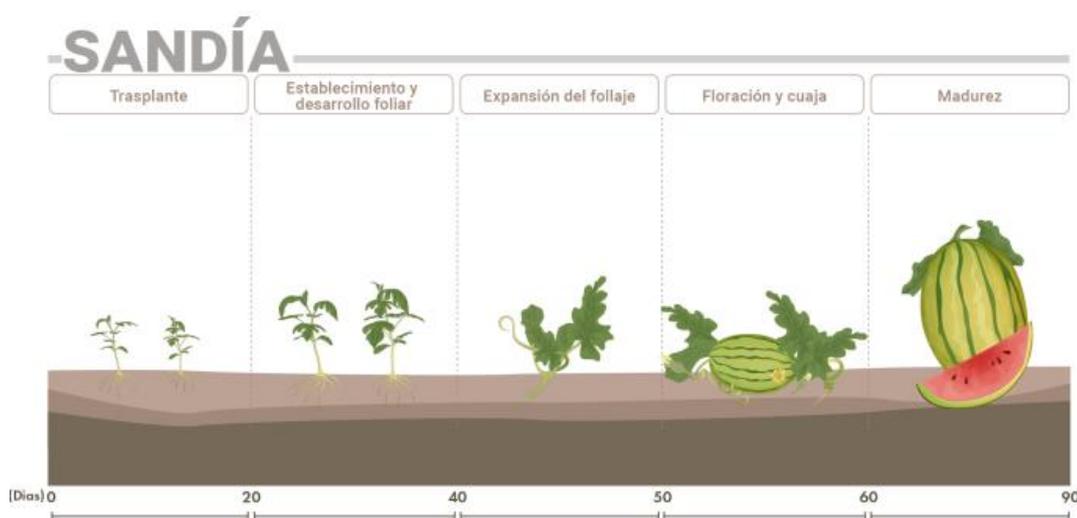


Figura 1: Manejo agronómico y etapas de desarrollo del cultivo de sandía

Fuente: SQM (2022)

La Figura 1 ilustra las distintas etapas de desarrollo del cultivo de sandía, mientras que la Tabla 2 proporciona un resumen de los coeficientes de cultivo (Kc) principales utilizados para la gestión del riego. Es evidente que el valor de Kc comienza siendo relativamente bajo y aumenta a medida que la planta cubre una mayor superficie del suelo. Los valores máximos de Kc se registran durante la etapa de floración y se mantienen estables durante la fase intermedia del cultivo, para luego disminuir gradualmente en la etapa de maduración.

Tabla 2: Coeficiente de cultivo Kc en las etapas de desarrollo de la sandía.

	Etapas de desarrollo			
	Inicial	Desarrollo del cultivo	Temporada media	Tarde
Coeficiente de cultivo (Kc)	0.4-0.5	0.7-0.8	1.0	0.75

Fuente: FAO (2022)

En condiciones de alta evaporación, los intervalos de riego pueden ser tan cortos como de 6 a 8 días. Para producción máxima los coeficientes de cultivo (kc) que relacionan los requerimientos hídricos (ETm) con la evapotranspiración de referencia (ETo) son: durante la etapa inicial de 10 a 20 días, 0.4-0.5, durante la etapa de desarrollo de 15 a 20 días, 0.7-0.8; la etapa de mitad de temporada de 35 a 50 días 0.95-1.05; y la etapa final de temporada de 10 a 15 días, 0.8-0.9. Después de 70 a 105 días, en el momento de la cosecha, el Kc es de 0.65-0.75. Los requisitos de agua para el período de crecimiento total para un cultivo de 100 días oscilan entre 400 y 600 mm (FAO, 2022).

3.2. RIEGO

Las plantas en los cultivos requieren absorber agua del suelo para su crecimiento y desarrollo. Cuando el nivel de humedad en el suelo es escaso, esto dificulta la capacidad de las plantas para absorber agua, por lo tanto, es esencial realizar riegos para restablecerla y hacerla disponible para las plantas (Demin, 2014).

A nivel global, la agricultura constituye el 72% de todas las extracciones de agua, tanto de fuentes superficiales como subterráneas, y esto se debe principalmente al riego. (FAO, 2021).

En la práctica del riego, es fundamental minimizar las pérdidas de agua y optimizar su uso. La eficiencia de riego se refiere a la cantidad de agua que permanece en el suelo y está disponible para el cultivo después de un riego, en relación al volumen total de agua que se aplicó en ese riego en particular. (Demin, 2014).

3.2.1. Parámetros

Se consideran los siguientes parámetros para poder regar:

- **Infiltración**

La infiltración se refiere al proceso de entrada de agua en el perfil del suelo, y es un aspecto crucial debido a que determina varios factores importantes. En primer lugar, nos indica la cantidad de agua que efectivamente penetra en el suelo, lo que puede diferenciarse de la cantidad que escurrirá por la superficie y, por ende, podría causar pérdida de suelo y erosionar el terreno. La infiltración del suelo está influenciada por su textura (Figura 2), es decir, la proporción de sus componentes, que incluyen arena, limo y arcilla. Además, otros factores como la presencia de materia orgánica, las prácticas de laboreo del suelo y los cultivos previos también influyen en este proceso. La comprensión de la infiltración del suelo es fundamental para la gestión del agua en la agricultura y la prevención de la erosión (Demin, 2014).

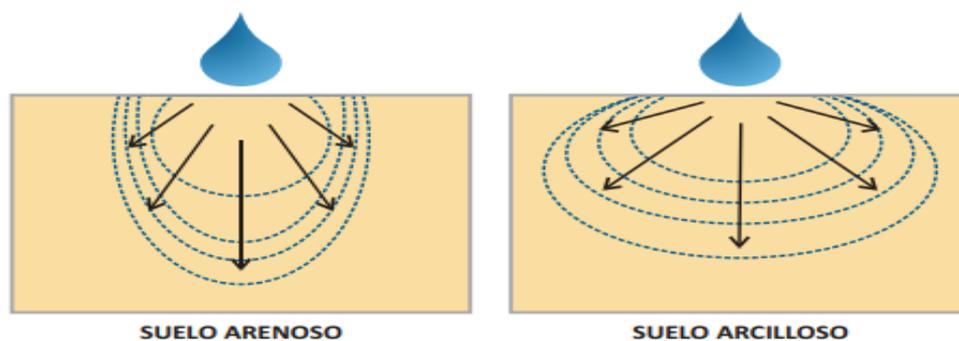


Figura 2: Patrones de infiltración según la textura del suelo

Fuente: Fernandez et al. (2010)

- **Topografía**

La sistematización de suelos es una herramienta esencial, especialmente en sistemas de riego por superficie. El objetivo principal es asegurar que el agua se mueva a una velocidad que sea aproximadamente un cuarto ($1/4$) de la velocidad de infiltración del suelo. En otras palabras, se busca que el agua tenga tiempo suficiente para infiltrarse en el suelo en lugar de avanzar rápidamente por la superficie. Estas prácticas son valiosas porque proporcionan datos importantes para comprender las pendientes y topografía de los terrenos que se desean regar. Aseguran que el agua se distribuya de manera más uniforme y eficiente, lo que contribuye a un uso más efectivo de los recursos hídricos y a la prevención de problemas como el encharcamiento o la erosión del suelo (Demin, 2014).

3.2.2. Riego presurizado

En un sistema de riego presurizado, el agua se transporta a través de tuberías bajo una cierta presión y se suministra directamente a las plantas. Este enfoque permite evitar las pérdidas de agua debidas a la infiltración durante la conducción y distribución del agua, lo que a su vez garantiza que más agua esté disponible para las plantas. Además, es fundamental tener conocimiento de las cantidades de agua que se aplicarán, determinadas de acuerdo a las necesidades de riego específicas del cultivo en cuestión (Demin, 2014).

- **Riego por goteo**

El método de riego al que se hace referencia implica la aplicación continua de agua en forma de gotas cerca de la planta, de modo que solo una parte del volumen del suelo se moja, aproximadamente el 30% del suelo. Es un tipo de riego de alta frecuencia en el que se debe reponer el agua que la planta ha consumido uno o dos días atrás. En este método (Figura 3), se forma un área húmeda en el suelo debajo de cada punto de goteo, lo que favorece el desarrollo de un mayor número de raíces de la planta en estas zonas. (Demin, 2014).



Figura 3: Riego por goteo con cintas de riego

Este método de riego es considerado como uno de los más eficientes en cuanto a la aplicación de agua. Es particularmente adecuado en áreas con vientos fuertes, ya que al mojar solo una parte del suelo y crear un área húmeda debajo del punto de goteo, se reduce la evaporación del suelo. Dependiendo del espaciado entre las plantas y el diseño del sistema, es posible que los bulbos húmedos se solapen en el suelo o no. Además, la cantidad de goteros por planta varía según las necesidades de riego y el tamaño del cultivo, llegando incluso a requerir hasta ocho goteros por planta en el caso de frutales grandes. (Demin, 2014).

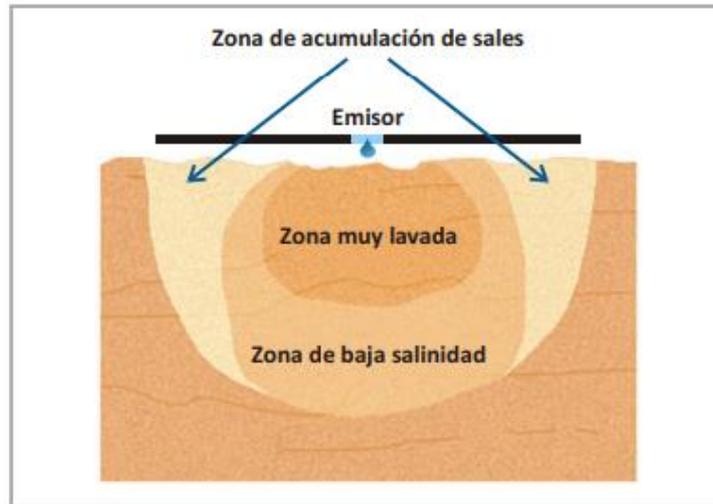


Figura 4: Bulbo húmedo

Fuente: Fernández et al (2010)

En la Figura 4, se observa que dentro de un bulbo húmedo hay tres zonas distintas. La zona superior está saturada de agua, la siguiente zona, aunque no está saturada, está húmeda y es la que alberga la mayoría de las raíces activas que absorben agua del suelo. En la parte más externa del bulbo, hay una capa que contiene una alta concentración de sales, y esto se debe al riego. Para evitar que estas sales penetren en el interior del bulbo, es necesario realizar riegos constantes, incluso cuando está lloviendo. Esta práctica ayuda a mantener la calidad del suelo y evita que las sales se acumulen en las zonas de raíces activas, lo que podría perjudicar el crecimiento de las plantas. (Demin, 2014).

- **Componentes del sistema**

Según Liotta et al. (2015), los componentes del sistema de riego por goteo incluyen:

- La fuente de abastecimiento de agua.
- El cabezal principal.
- Tuberías de conducción principales.
- Cabezales de campo.
- Tuberías terciarias.
- Laterales de riego con emisores.

- **Ventajas del sistema**

El riego por goteo se caracteriza por su capacidad de ahorro de agua en varios aspectos. La cantidad de agua aplicada se ajusta de acuerdo a la evapotranspiración de los cultivos, lo que significa que se suministra la cantidad precisa de agua en el momento adecuado. Esto reduce

significativamente las pérdidas por conducción, ya que el agua es transportada directamente a las plantas a través de tuberías, evitando la evaporación y el escurrimiento que son comunes en el riego por superficie. En el riego por goteo, la eficiencia es muy alta, generalmente entre un 90% y un 95%, lo que significa que la mayor parte del agua aplicada beneficia directamente a las plantas, minimizando el desperdicio de agua.

La uniformidad de aplicación es una característica destacada del riego por goteo. Esto se debe a que la entrega de agua se realiza a través de emisores que tienen un caudal igual y están colocados a distancias regulares. Esta disposición permite que el agua se distribuya de manera muy uniforme, incluso en terrenos con topografía irregular.

El riego por goteo permite aumentar la superficie que se riega con la misma disponibilidad de agua en aproximadamente un 30-35%. Este aumento en la superficie regada se debe a la mejora en la eficiencia del uso del agua que ofrece este método.

El riego por goteo presenta una menor presencia de malezas en comparación con otros métodos de riego. Esto se debe a que el agua se suministra de manera localizada, directamente junto a las plantas y a lo largo de las hileras del cultivo, lo que significa que gran parte de la superficie entre las filas de cultivo permanece seca, aproximadamente alrededor de una tercera parte de la superficie. Esta sequedad entre las hileras dificulta el crecimiento de malezas, ya que estas plantas no reciben la humedad necesaria para proliferar.

El sistema de riego por goteo es compatible con diversas labores culturales en el campo. Durante la operación de riego por goteo, es posible llevar a cabo otras actividades agrícolas, como tratamientos fitosanitarios, poda, raleo de frutos, cosecha y muchas otras tareas. Esto se debe a que, debido a la distribución localizada del agua, gran parte del suelo entre las filas de cultivo permanece seco, lo que facilita el tránsito de personas y maquinarias agrícolas sin el inconveniente de lidiar con charcos o áreas fangosas (Liotta et al, 2015).

3.2.3. Tensiómetros

Los tensiómetros son dispositivos que miden el potencial matricial o tensión del suelo, que es una forma indirecta de medir la humedad del suelo. Este potencial matricial se origina debido a las fuerzas que retienen el agua en los capilares y alrededor de las partículas del suelo. La unidad de medida más común para el potencial matricial es el Kilopascal (kPa). Cuando el suelo se seca, el potencial matricial aumenta, lo que se refleja en una lectura más

alta en el tensiómetro. Por el contrario, cuando el suelo se humedece, el potencial matricial disminuye, lo que se traduce en una lectura más baja en el tensiómetro. En condiciones de saturación, el potencial matricial puede aproximarse a cero, ya que el suelo está completamente lleno de agua (Baeza et al, 2020).

- **Descripción**

Un tensiómetro es un dispositivo compuesto por un tubo que culmina en una punta de cerámica porosa, conocida como cápsula cerámica. El tubo se llena completamente de agua y se sella herméticamente en la parte superior. Durante la instalación en el suelo, la cápsula cerámica se inserta de manera que quede completamente rodeada por las partículas del suelo y los microporos. La cerámica actúa como un medio de comunicación que permite el intercambio de agua entre el interior del tensiómetro y la solución del suelo circundante.

El suelo absorberá el agua del interior del tensiómetro, y esta absorción se registrará mediante un dispositivo de medición de "vacío" o presión negativa llamado vacuómetro, que se encuentra en la parte superior del tensiómetro. La lectura en el vacuómetro será equivalente al potencial matricial del suelo, lo que proporciona una medida de la humedad o tensión del suelo en ese punto específico. (Baeza et al, 2020).

- **Ventajas del uso de tensiómetros**

Entre las principales ventajas de los tensiómetros frente a otros sensores de humedad del suelo tenemos (Baeza et al, 2020):

- Resistencia a la influencia de la salinidad y temperatura del suelo: Los tensiómetros son menos sensibles a la salinidad y las variaciones de temperatura del suelo en comparación con otros sensores de humedad.
- No requieren calibración previa: A diferencia de algunos otros sensores de humedad, los tensiómetros generalmente no necesitan calibración antes de su uso, lo que simplifica su instalación y operación.
- Costo relativamente bajo: Los tensiómetros suelen ser una opción económica en comparación con algunos otros dispositivos de monitoreo de humedad del suelo.

- Adecuados para suelos de textura fina con alto contenido de arcilla: Los tensiómetros se adaptan bien a suelos con textura fina, que contienen niveles significativos de arcilla, lo que los hace versátiles en una variedad de condiciones de suelo.
- Precisión en niveles de humedad elevados: Los tensiómetros son bastante precisos en situaciones donde los niveles de humedad del suelo son altos, como en cultivos hortícolas. Esto permite un control efectivo de la irrigación en este tipo de cultivos.

- **Preparación del tensiómetro**

La preparación del tensiómetro se basa en dos puntos, el primero es llenar el interior del tensiómetro con agua destilada y el segundo es hidratar la punta de cerámica.

Para llenar el tubo, se mantiene el tapón abierto. Posteriormente, se introduce la cerámica en un balde con agua y se deja remojando entre 12 a 24 horas.

Luego de este tiempo, la cerámica va a estar hidratada y se rellena el tubo del tensiómetro con el agua destilada. Se cierra correctamente el tapón del tensiómetro y estará listo para su instalación en campo.

- **Selección del punto de instalación**

Se debe seleccionar una zona representativa de la variedad a regar, usualmente se coloca al medio de la válvula.

Luego de escoger el lugar, se coloca el tensiómetro en la zona donde haya mayor cantidad de raíces, en este colocamos dos tensiómetros uno a una profundidad de 15cm y el otro a una profundidad de 30 cm para poder obtener dos lecturas referenciales. Se colocan los tensiómetros distanciados a 10 cm entre ellos y en el medio de dos plantas (Figura 5). No se colocan debajo de la cinta de riego porque si no la lectura no sería representativa.



Figura 5: Instalación de tensiómetros entre plantas

- **Instalación en el terreno**

Para la instalación en el terreno, se utiliza un barreno el cual servirá para realizar un hueco en el suelo a la profundidad que busquemos, con el objetivo final de introducir el tensiómetro y la cerámica quede completamente enterrada y en contacto con el suelo.

Para poder fijar mejor el tensiómetro, se realiza una solución de barro diluido la cual se introduce dentro del hueco realizado por el barreno y posteriormente se coloca el tensiómetro y se sella también con el mismo barro preparado.

Finalmente, se utiliza una bomba de vacío con la cual se van a extraer aquellas burbujas que han podido aparecer al interior del tensiómetro al momento de la instalación, como se puede observar en la Figura 6.



Figura 6: Tensiómetro con burbujas

IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1. MANEJO AGRONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE SANDÍA

4.1.1. Siembra

En el cultivo de sandía, la siembra es el primer proceso a realizarse. Bajo condiciones del valle de Cañete se realiza desde noviembre a enero para tener establecido el cultivo en una ventana de producción óptima de los meses de diciembre a abril, lo cuales cumplen con los requerimientos climatológicos que el cultivo necesita.

Se procede a sembrar los parentales machos de cada variedad, los cuales ingresan a almácigo correctamente identificados y mantienen esta identificación hasta el trasplante, para evitar algún problema de contaminación de variedades (Figura 7). La siembra se realiza de manera manual en bandejas almacigueras de 128 celdas, colocando una semilla por celda.



Figura 7: Bandeja almaciguera con plantines de sandía y tarjeta de identificación

La relación entre hembra y macho para cada híbrido de sandía es de 1:6; es decir, 1 planta macho para 6 plantas hembra.

La siembra de las parentales hembras se realiza 8 a 12 días después de su macho, en bandejas almacigueras de 98 celdas, el proceso también es de forma manual colocando una semilla por celda y se mantiene correctamente identificada la variedad hasta llegar a campo definitivo al momento del trasplante.

Durante este proceso solo se procede a sembrar una variedad, al finalizar la variedad se limpia correctamente el ambiente de trabajo para evitar contaminación de semillas al iniciar la siembra de la siguiente variedad.

En almácigo, los plantines de sandía pasan aproximadamente de 12 a 18 días desde su siembra hasta el trasplante, dependiendo de las temperaturas y las condiciones de plántula.

Para evaluar que una variedad se encuentra lista para ser trasplantada, se revisan que los plantines cuenten ya con una hoja verdadera y su brote definido; asimismo, se revisa el cono de sustrato, en el cual se debe visualizar que las raíces cubran el cono un 70 a 80%, tomando finalmente la decisión de trasplante en base a la cantidad de sistema radicular evaluado en los plantines.

4.1.2. Preparación de terreno e instalación de casa malla

Antes de realizar el trasplante se debe tener el terreno en campo definitivo preparado para que los plantines se encuentren con un suelo de buenas condiciones para el desarrollo y prendimiento radicular, las labores que se realizan son las siguientes: subsolado, gradeo, riego de machaco y arado (Figura 8).



Figura 8: Preparación del terreno

Posteriormente, se levantan camas sobre el terreno para que las raíces de las sandías puedan explorar los primeros 30 cm de suelo, mejorando la aireación y facilitando el manejo de riego; una cama correctamente preparada cuenta con 1 metro de ancho y 35 cm de alto. Luego se procede a realizar la fertilización base, con la ayuda de un implemento se incorporan fertilizantes granulados a la largo de la cama de cultivo ya formada.

Respecto a la instalación de la casa malla (Figura 9), una vez finalizada las labores de preparación de suelo se procede a cercar los bordes de nuestra área productiva de 1 ha a la cual consideramos como módulos, se utilizan pinos importados de 5 metros como base de la estructura y pinos de 4 metros para el soporte del módulo, los módulos son las casas mallas que se encuentran recubiertas de malla antiáfidas de 50 mesh, el principal objetivo del uso de módulos en la producción de semillas híbridas comerciales de sandía es evitar la contaminación genética de diferentes variedades que se puedan encontrar en el mismo campo, al encontrarse el módulo cerrado se evita el ingreso de diferentes insectos polinizadores; asimismo, se evita el ingreso de plagas las cuales pueden afectar considerablemente la producción.



Figura 9: Instalación de palos de pinos para la estructura de la casa malla

4.1.3. Trasplante

Previo al trasplante existen dos labores fundamentales las cuales son el mullido (Figura 10) y hoyado (Figura 11) superficial de las camas, así se garantiza el contacto entre raíces y suelo.



Figura 10: Mullido de camas



Figura 11: Camas hoyadas listas para el trasplante

Para realizar el mullido el personal operativo utiliza rastrillos jardineros y mueve la superficie del suelo a una profundidad de 5 a 8 cm aproximadamente a lo largo de la cama. Luego se procede con el hoyado, los cuales se realizan por encima de la cama a un distanciamiento de 30 cm entre hoyo y hoyo donde se van a colocar los plantines trasplantados, para realizar el hoyado se utiliza un implemento el cual es un arco de madera con 3 puntas distanciadas entre sí el cual facilita la labor.

Estas dos labores deben de realizarse como máximo 1 día antes de la fecha de trasplante, debido a que si pasan más días el suelo pierde la humedad necesaria y se compacta dificultando la labor de trasplante en sí.

La densidad de plantas a trasplantar para el cultivo de sandía es de 40000 plantas por hectárea usualmente, las cuales pueden ser colocadas a lo largo de la cama de cultivo en forma de hilera simple o tres bolillos. El trasplante se realiza de manera manual, se retiran los plantines de sandía de la bandeja con un instrumento el cual permite despegar los conos de la bandeja sin maltratar las plantas, los plantines se van colocando a lo largo de la cama evitando desmoronar el cono de turba o doblando los cuellos de planta.

Finalizando el proceso, se toma el cono de turba y se coloca la planta en el hoyo sin maltratarla y se presiona ligeramente contra el suelo con el fin de obtener un contacto del suelo con las raíces sin generar bolsas de aire. Se debe cubrir levemente el cono de turba con la tierra de la cama para que no generar deshidratación del plantín. Cada variedad sea hembra o macho se identifica posterior al trasplante con los datos referentes a cada una de ellas y la fecha en la que fue trasplantado en unas paletas de madera y se colocan junto a la primera planta trasplantada y a la última.

4.1.4. Despunte

Esta labor se realiza en las sandías tetraploides, debido a que se necesita frenar el vigor natural de la planta antes de polinizarla, el proceso es cortar en la guía principal el ápice o punto de crecimiento, generando el desarrollo de brotes secundarios o guías laterales. Ocurre 15 días después del trasplante y en los meses más calurosos se puede adelantar esta labor debido al rápido desarrollo de la planta, llegando a realizarse a los 12 días después de haber sido trasplantada.

4.1.5. Enrrafiado

Para realizar esta labor se elige una guía secundaria de las que crecieron después del despunte, luego se procede a amarrar en el cuello de la planta una rafia la cual está sujeta al parrón del módulo e ir pasando la guía elegida alrededor de ella por sus entrenudos con mucho cuidado para no quebrar el punto de crecimiento de la guía que vamos enrrafiando como se puede observar en la Figura 12.



Figura 12: Labor de enrrafiado

4.1.6. Preparación

La preparación de plantas se realiza a los 20 días después de trasplantada la sandía y consiste en podar todas las guías secundarias que no fueron enrrafiadas (Figura 13); asimismo, en esta poda se eliminan las hojas basales hasta el quinto o sexto nudo.



Figura 13: Poda para preparación de plantas

De acuerdo al creciendo la planta, se debe ir guiando a través de la rafia hasta que llegue al tamaño óptimo para el inicio de la hibridación (Figura 14), durante este guiado se van limpiando los brotes laterales que se encuentren.



Figura 14: Plantas de sandía preparadas, limpias y guiadas

4.1.7. Hibridación

La hibridación es el proceso más importante para la producción de semilla híbrida en el cultivo de sandía, es aquí donde se logra, dependiendo si se realiza de forma correcta, desarrollar el potencial genético y la calidad de la semilla, así como obtener los kilos pedidos según variedad.

En este proceso ocurren dos labores fundamentales, los cuales son la emasculación y la polinización, consiste en utilizar el polen del parental macho y colocarlo en el estigma receptivo del botón floral del parental hembra; debido a que, el resultado que se va a obtener en esta cruce tendrá las características necesarias que el cliente solicitó para su variedad.

Este proceso ocurre entre los 30 y 35 días después del trasplante, donde la planta ya tiene una altura adecuada para iniciar la polinización; asimismo, a esta edad ya presenta el tercer o cuarto botón floral que es el utilizado para hibridar.

- **Emasculación**

El proceso de emasculación consiste en retirar con ayuda de una pinza los estambres o vástagos de estambres que se puedan encontrar en la flor femenina que se va a utilizar para polinizar (Figura 15); esta es una labor muy crítica, debido a que, si queda algún resto de estambre o vástago de estambre en el botón, la planta se puede auto polinizar, lo cual no se quiere porque tendríamos posteriormente la cuaja de un fruto estándar, el cual no sirve ya que no ha sido hibridado.

Asimismo, durante este proceso de debe evitar realizar algún tipo de daño mecánico en el estigma por el uso de la pinza, la consecuencia de estos daños se ven reflejados al momento de la cuaja del fruto, obteniendo frutos deformes. Los botones emasculados son cubiertos por un sobre rojo con francas blancas, el cual será polinizado al día siguiente.



Figura 15: Proceso de emasculación

- **Polinización**

La polinización se realiza una vez se tiene el botón floral limpio de estambres y se encuentre receptivo, para esta labor se agarran flores del parental macho y se le doblan los pétalos hacia atrás, de esta manera se exponen los estambres con el polen que vamos a utilizar en la flor femenina, luego se coge la flor masculina y se le dan pequeños toques al estigma de la flor femenina hasta que esté cubierto de polen.

Después de la polinización, se cubre con un sobre color blanco el botón polinizado para prevenir contaminación cruzada por algún insecto; asimismo, se coloca una marca en el pedúnculo de esa flor lo cual indica que ese botón ya fue trabajado (Figura 16), esta labor nos diferenciará los frutos hibridados de los frutos autopolinizados y facilitará la identificación al momento de la cosecha de los frutos.



Figura 16: Botón emasculado (sobre rojo con franjas) y botón polinizado (sobre blanco)

Esta labor tiene un periodo de duración de 7 a 10 días aproximadamente, lo que se busca realizar campaña tras campaña, es disminuir los días de polinización para generar un ahorro de jornales y un mejor manejo del riego en el proceso de maduración del fruto, por este motivo para iniciar la polinización se requiere un porcentaje alto de botones aptos para hibridar, logrando así una polinización más corta.

4.1.8. Maduración

El periodo de maduración del fruto de la sandía inicia desde el fin de la polinización hasta que el fruto cumpla 35 a 40 días aproximadamente y esté listo para la cosecha. Es una etapa de crecimiento del fruto, pero sobre todo y más importante el crecimiento y desarrollo de las

semillas, que es nuestro producto final en el caso de la producción de semillas híbridas comerciales (Figura 17).



Figura 17: Desarrollo de frutos (8 - 10 días de polinización)

Para lograr esta maduración, la primera labor que se realiza es el despunte de la guía que sostiene nuestro fruto, con el fin de que todas las reservas de nutrientes en la planta se dirijan al fruto en crecimiento. Luego se realiza una limpieza de brotes laterales y la poda final, la cual ocurre 5 a 7 días después del fin de la polinización, donde se eliminan los brotes laterales y axilares con el mismo objetivo de concentrar las reservas en el fruto que se va desarrollando. Semanalmente se ingresa a revisar el crecimiento de frutos autopolinizados a los cuales llamaremos estándar, al encontrar un fruto estándar se elimina inmediatamente para evitar su crecimiento y la competencia que genera con el fruto polinizado.

Por último, una vez el fruto polinizado agarre mayor tamaño, se procede a enmallarlo (Figura 18) para que por el peso no se caiga de la planta y se estropee todo el proceso de maduración (Figura 19), para esta labor se debe verificar un correcto enmallado para no lastimar así el pedúnculo que sostiene al fruto y evitar se quiebre.



Figura 18 : Frutos enmallados



Figura 19: Fruto caído por falta de enmallado

4.1.9. Cosecha

La cosecha se inicia cuando el primer fruto hibridado tiene 45 días de polinización, esta labor consiste en la colecta de todos los frutos polinizados de campo para posteriormente llevarlos a la zona de trilla (Figura 20), donde van a esperar unos días antes de ser trillados para la obtención de las semillas híbridas de la variedad cosechada.



Figura 20: Frutos guardados en zona de trilla

Para realizar esta labor, se realiza primero un roguing, que consiste en la revisión de todas las plantas de la variedad para verificar el desarrollo del fruto y confirmar que los frutos que estén en campo previos a la cosecha sean solo frutos polinizados, se confirma la verificación realizando una marca de pintura al fruto polinizado (Figura 21).



Figura 21: Frutos marcados por roguing

4.2. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN PARA DECISIONES DE RIEGO

4.2.1. Registro de tensiones

Todas las decisiones de riego se toman de acuerdo a los datos colectados diariamente de las tensiones que nos brindan los tensiómetros ubicados en el suelo en cada una de las variedades que se tienen en campo (Figura 22). Los tensiómetros son útiles para determinar la frecuencia de riego.

La lectura de los tensiómetros es una labor que se realiza todos los días en conjunto con el personal operativo del equipo de riego, ellos colectan la información y la envían a los ingenieros de riego para poder decidir el litraje diario y darles la lámina de riego que van a reponer a cada una de las variedades (Figura 23).



Figura 22: Tensiómetros de 15 cm y 30 cm

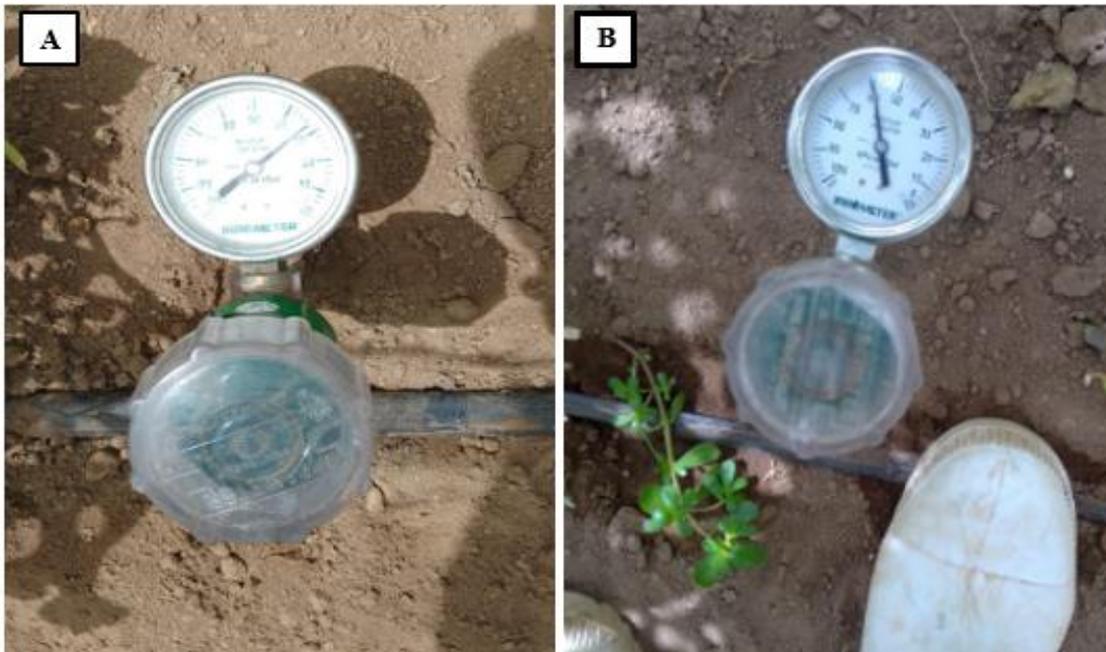


Figura 23 : Lectura del tensiómetro

Nota: A) Tensiómetro con lectura de 32 cb, B) Tensiómetro con lectura de 60 cb.

Asimismo, se maneja en campo un registro diario, donde se indica los datos completos e identificación de las variedades, litrajes, tiempos de riego, tensiones del tensiómetro de 15 cm y tensiones del tensiómetro de 30 cm, fechas de las diferentes labores del cultivo, todos estos datos con el fin de manejar adecuadamente la variedad y realizar un seguimiento continuo de ellas.

La ubicación del juego de tensiómetros para medir la humedad del suelo es de mucha importancia. Esta debe hacerse necesariamente al inicio y final del surco elegido con la finalidad de determinar si se está humedeciendo en forma homogénea el campo. También deben realizarse mediciones en partes del campo que se muestren diferentes o posean características especiales (zonas de secamiento rápido o zonas que permanecen húmedas por períodos prolongados) y sobre todo en lugares representativos del campo.

4.2.2. Registro textural

Asimismo, se realizan constantes calicatas, con el fin de observar hasta donde profundizó la lámina de riego aplicada; también, poder comprobar de manera manual en base a la experiencia, la humedad que presenta el suelo, colocando un poco del suelo en la palma de la mano y formando una bolita (Figura 24), de esta manera podemos darnos cuenta de que si el suelo está realmente húmedo o seco (Figura 25).



Figura 24: Muestra de suelo tomada a 30 cm



Figura 25: Determinación de humedad de una muestra de suelo tomada a 15 cm

4.3. MANEJO DE RIEGO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL CULTIVO DE SANDÍA

4.3.1. Riego en almácigo

El primer riego en el cultivo de Sandía se realiza después de finalizada la siembra en las bandejas almacigueras, generando con esto que la turba quede compacta en la celda y la semilla pueda germinar; la frecuencia de riegos está en función de las condiciones climáticas, en los meses de octubre y noviembre se riega usualmente inter diario; sin embargo, en los meses de diciembre, enero y febrero se realizan riegos diarios e incluso dos veces por día.

Se debe verificar que el riego se aplique de manera uniforme en toda la bandeja, por eso se utilizan boquillas rociadoras en forma de ducha con el fin de no generar desigualdad en el crecimiento de los plantines.

4.3.2. Riego de machaco

El riego de machaco (Figura 26) es aquel riego pesado que se da al terreno 3 a 4 días previos a la fecha de trasplante, tanto para parentales machos como para hembras, el propósito de este riego es humedecer la cama de cultivo para facilitar las labores pre-trasplante como el mullido y hoyado; el suelo luego queda a capacidad de campo lo cual permite que las herramientas puedan penetrar y desmenuzar el suelo sin generar bloques de tierra o terrones y esté listo para el día del trasplante.



Figura 26: Inicio de riego de machaco



Figura 27: Humedad en cama con lámina de riego: 20 mm

Depende de la textura del suelo, se manejan diferentes tiempos de riego; en un suelo de textura franco arcilloso, se aplica una lámina de riego de 20 mm en el riego de machaco para el trasplante (Figura 27); en un suelo de textura franco arenoso o arenoso, se aplica una lámina de riego entre 28 mm y 35 mm en el riego de machaco para que humedezca toda la cama de cultivo.

4.3.3. Riego de pega

El riego de pega es aquel riego que se da durante el proceso de trasplante, una vez se termina de trasplantar una cama de la variedad, se prende el sistema de riego para empezar a regar los plantines recién trasplantados con el fin que no sufran de deshidratación; la lámina de riego aplicada durante el riego de pega es de 10 mm a 15 mm del tipo de suelo. El objetivo de este riego es humedecer el cono de turba donde se encuentran las raíces de la sandía de tal manera que se junte con la tierra del suelo de la cama de cultivo (Figura 28) y posteriormente las raíces pueden explorar. Luego de este riego, no se vuelve a regar en 3 a 4 días, ya que la humedad que presenta el suelo está entre los 2 a 5 centibares, pasado los 3 primeros días entramos a tensiones de 10 centibares con las cuales iniciamos los riegos del cultivo.



Figura 28: Inicio del riego de pega

4.3.4. Riego de desarrollo de la planta

Los riegos para el desarrollo de la planta son riegos interdiarios de 1.33 mm o 1.66 mm de agua. Con la finalidad de darle vigor a la planta, generar estructura, ganar tamaño y desarrollar altura (Figura 29), la humedad de suelo se debe encontrar en un rango de

tensiones de 10 a 15 centibares para el caso de un suelo de textura franco arenoso o arenoso y de 14 a 18 centibares para el caso de un suelo de textura franco arcilloso, estos riegos pueden ser 10 o 12 riegos, se pueden acortar dependiendo de las condiciones climatológicas en las que se encuentre la planta y la velocidad de su desarrollo.



Figura 29: Desarrollo de las plantas

4.3.5. Riego pre-polinización

Los riegos pre-polinización son los más complicados, es en este periodo donde empezamos a manejar el estrés hídrico al cultivo, donde generamos condiciones no favorables para la planta, ya que al llevarla a un estrés paralizamos su desarrollo de golpe. En un cultivo comercial, es una práctica poco posible de realizar, ya que la sandía es un cultivo que requiere de abundante agua para desarrollarse, lo que se busca estresándola, es decir, quitándole el agua hasta llevar al suelo en muchos casos a punto de marchitez, es generar en

la planta la necesidad de emitir botones florales para querer reproducirse y buscar la sobrevivencia; con este estrés la mayoría de plantas de la variedad que se quiere polinizar, genera un alto porcentaje de botones aptos para polinización, lo cual es conveniente, ya que lo que se busca es reducir los días de polinización, debido a que los primeros botones polinizados son los que tienen un mejor rendimiento gramos/fruto, al tener una polinización más corta, incrementamos la posibilidad de tener mejor rendimiento en todos los frutos polinizados.

La humedad del suelo en este periodo, depende de varios criterios; el primero de ellos, es la variedad que se va a trabajar, al manejar diferentes variedades de parentales que provienen de todo el mundo y de diferentes clientes, se conoce en muchos de los casos sus características (al ocurrir el caso de ser una variedad nueva, se realiza un manejo estándar para probar la reacción de las plantas a los niveles de estrés que se dan), en el caso de las variedades conocidas, hay algunas que requieren unas tensiones de 60 a 70 centibares días previos a la polinización, son variedades no muy vigorosas que se pueden estresar más rápido a diferencia de otras donde se deben llevar las tensiones a un rango de 80 a 90 centibares para que la variedad refleje el ajuste de estrés que buscamos generar, en este momento se visualiza a las plantas con una coloración verde oscuro o verde azulado lo cual significa que la planta está estresada (Figura 30), las hojas se encuentran con una textura coriácea, también se acortan lo entrenudos, los zarcillos se encuentran completamente ondulados y la presencia de botones florales es mayor.

Durante este periodo tenemos riegos de láminas de 0.33 mm, buscando tener mínimo 5 días previos al inicio de la polinización las mismas tensiones con las cuales vamos a entrar a polinizar, durante los días de polinización se busca mantener también las mismas tensiones, sin embargo, al crecer el fruto recién polinizado, la planta no podrá resistir estas láminas tan bajas, por ende, se aumenta poco a poco la lámina, buscando no bajar de manera brusca el rango de tensiones obtenidas, sino que la curva de tensiones descienda progresivamente.



Figura 30: Plantas en período de estrés

En la Figura 31, se puede apreciar el crecimiento en las tensiones de manera progresiva días previos al inicio de la polinización. Asimismo, durante los días de polinización se mantiene un rango de tensiones entre 60 y 70 centibares durante 8 – 9 días, posteriormente la curva desciende.



Figura 31: Curva de tensiones de una variedad típica

4.3.6. Riego durante hibridación

Luego de generar el estrés que se busca en la variedad que se va a trabajar, se inicia la hibridación, para este momento se inician también los riegos diarios, la lámina de riego aplicada los primeros días es muy baja, continúa siendo 0.33 mm, como se mencionó anteriormente en la Figura 31.

Posterior a los 7 – 8 días de polinización la lámina sube 0.5 mm, luego 0.66 mm y después a 1.33 mm (Figura 32), buscando así aportar el consumo que la planta está realizando ya que ahora están en plena cuaja de frutos.



Figura 32: Riego durante hibridación

4.3.7. Riego durante el crecimiento del fruto

Finalizando la polinización, se busca impulsar el crecimiento del fruto; asimismo, generar el desarrollo de las semillas, por este motivo se incrementan las láminas de riego a 1.66 mm diarios (Figura 33).



Figura 33: Riego durante el crecimiento del fruto

En esta etapa se mantienen las tensiones lineales dependiendo de la textura del suelo donde nos encontremos, el rango promedio es de 14 – 18 centibares por 30 días consecutivos, que es el tiempo de formación de las semillas híbridas de la sandía.

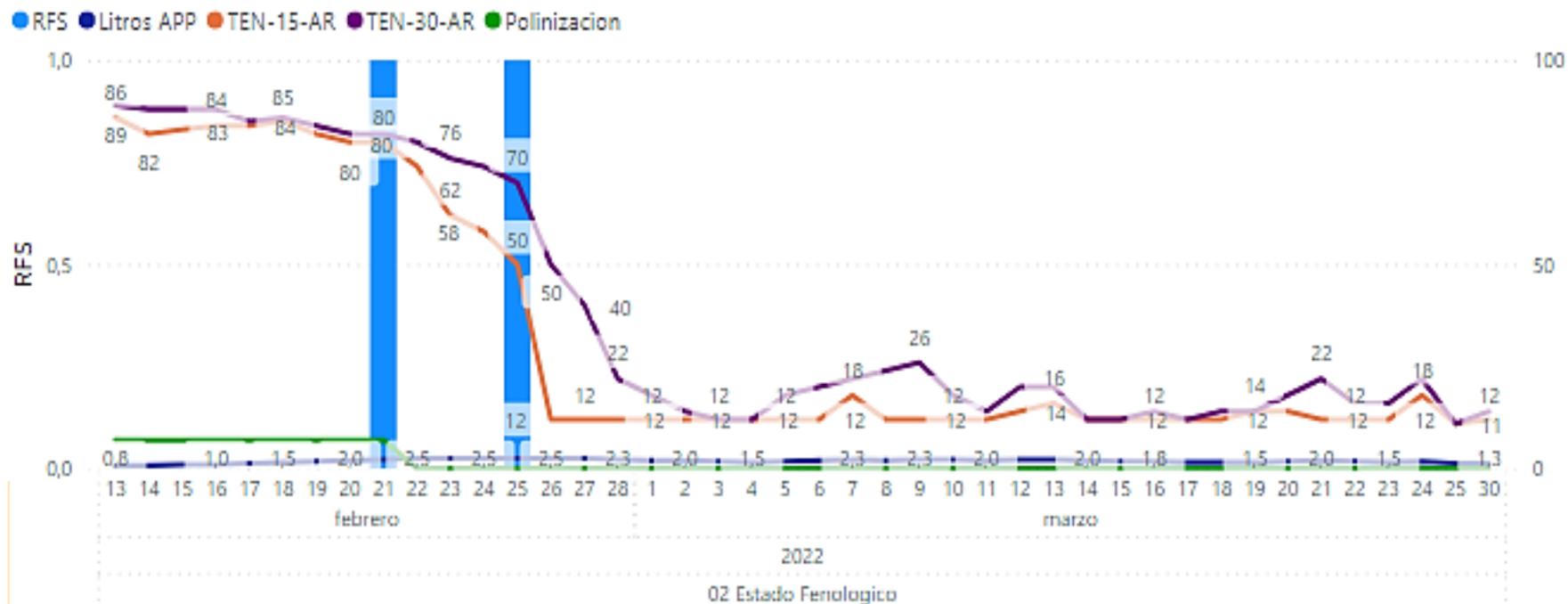


Figura 34: Curva de tensiones durante etapa de crecimiento de frutos

En la Figura 34 se puede observar el descenso en las tensiones finalizando la etapa de polinización, después se mantiene tensiones lineales durante 35 días, con láminas de riego entre 1 mm a 1.66 mm.

Se observa que las láminas de riego pueden variar de día a día, pero se intenta mantener lo más estables las tensiones para generar el desarrollo, formación, llenado de la semilla híbrida comercial.

4.3.8. Fin de riego durante cosecha

Pasado los 35 días después de la polinización, se inicia el descenso de la lámina de riego con el fin de incrementar un poco las tensiones. Esta etapa comprende unos 10 días aproximadamente, el objetivo es prevenir que las semillas se hinchen de tal manera que se pueda generar un agrietamiento, una semilla agrietada es una semilla de mala calidad. Asimismo, dependiendo de la variedad y el cliente, hay ciertos frutos que son cracking, por eso también se incrementan las tensiones días previos al inicio de cosecha, para evitar se rajen los frutos y se expongan las semillas.

El fin de riego ocurre cuando el último fruto polinizado cumple 45 días, en este momento se aplica una lámina cero, las plantas quedan en campo unos 2 – 3 días hasta que se ingrese a cosechar los frutos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 MEJORA EN EL AHORRO DE AGUA

En estos últimos años, se ha visto un ahorro económico respecto al consumo de agua proyectado versus lo utilizando realmente durante la campaña. Con el manejo de estrés que realizamos a las diferentes variedades y como se ha comentado previamente, existen algunas variedades más vigorosas que otras, por ende, se utiliza menos agua en las variedades que son menos vigorosas, generando un ahorro del 30% en el consumo de agua, ya que se estresan más rápido que las variedades de genética vigorosa, al estresarse en menos días, nos impacta significativamente ya que no se riega.

5.2 MEJORA EN EL RENDIMIENTO DE LAS SEMILLAS

Al generar un estrés en las plantas, incentivamos el desarrollo de botones florales que estén aptos para polinización, al tener una planta correctamente estresada se obtiene un fruto con mejor rendimiento gramos/fruto, a comparación de cuando se tiene una planta vigorosa para polinizar, ya que se obtiene un fruto grande pero lleno solo de pulpa, con muy pocas semillas o en algunos casos nulo.

Al obtener el estrés hídrico que la variedad necesita, concentramos la oferta de botones florales listo para polinizar, teniendo en el mejor de los casos un inicio de polinización con 20 -30 % del total de plantas, si el estrés es parejo y se mantienen las tensiones estables, el porcentaje de botones a polinizar diario se mantiene, lo cual permite cerrar la polinización en menos días. El resultado de una polinización corta se ve reflejado al momento de las estimaciones que se realizan por días de polinización, siendo muy parecidos los rendimientos gramos/fruto del primer día de polinización con los rendimientos de los últimos días de polinización.

El manejo de estrés hídrico por variedad ha ido mejorando a lo largo de las diferentes campañas, con el uso correcto de la toma de datos de los tensiómetros, lo cual nos permite tomar decisiones oportunas respecto a la lámina indicada de riego y las frecuencias de riego. Asimismo, la colecta de datos fue optimizada con la herramienta Power-Bi, donde podemos

revisar de manera amigable la información recolectada en campo, por fundos, por empresas y por variedades de todos los tensiómetros instalados en campo.

5.3 MEJORA EN EL IMPACTO AGRONÓMICO

El impacto agronómico que genera manejar adecuadamente el riego en las diferentes variedades de sandías se ve reflejado en la optimización de los jornales utilizados a lo largo de la campaña. El mayor número de personal operativo se concentra durante las polinizaciones, al lograr que una variedad esté correctamente estresada, genera una polinización de duración más corta lo cual significa que los jornales a utilizar por variedad sean menores si se compara con una variedad que fue polinizada en muchos días (por ejemplo, más de 10 días). Con el incremento del jornal durante los últimos años, se buscan estrategias para poder reducir el número de jornales utilizados durante los procesos, una de las mejores estrategias es la reducción de los días de polinización, lo cual logramos realizando un estrés adecuado a la variedad a trabajar.

5.4 MEJORA DE OPORTUNIDADES COMERCIALES

Con el correcto manejo hídrico que se le brinda a las diferentes variedades y los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento de gramos por fruto; los diferentes clientes potenciales apostaron por seguir incrementando su pedido de semillas y realizar la producción en nuestro país; lo cual genera mayores ingresos a la empresa, tanto económica como socialmente.

Se incrementan las hectáreas producidas, se incrementa la mano de obra, se genera mayor empleo para los pobladores de las zonas aledañas, brindado un trabajo estable, bajo contrato y con todos los beneficios que la ley establece.

VI. CONCLUSIONES

- Conocer las diferentes variedades de sandía (*Citrullus lanatus*), nos brinda la oportunidad de realizar un correcto manejo del estrés hídrico según cada etapa de desarrollo del cultivo en el que se encuentre, con lo cual obtenemos un incremento del 180% o en algunas variedades hasta el 250% en el rendimiento de gramos por fruto, debido a que en cada etapa se realizan diferentes labores las cuales nos condicionan a estar pendientes de las láminas de riego a aplicar según etapa y variedad.
- Manejar los datos de tensiones de la humedad del suelo de las diferentes variedades por cada una de sus etapas de desarrollo nos permite tomar las decisiones óptimas de riego lo cual favorece la producción, al mantener correctamente las tensiones y de manera estable durante las diferentes etapas, nos asegura un rendimiento gramos por fruto favorable. Asimismo, la colecta de datos es sumamente importante en la producción de semillas híbridas comerciales de sandía (*Citrullus lanatus*), ya que se puede demostrar a través de datos cualitativos el desarrollo de la variedad a los clientes respectivos, así justificamos la producción.

VII. RECOMENDACIONES

- Estudio exhaustivo de las variedades de sandía: Realizar una investigación detallada sobre las distintas variedades de sandía (*Citrullus lanatus*) disponibles en el área de estudio. Comprender las diferencias entre estas variedades es fundamental para adaptar el manejo del estrés hídrico de manera óptima.
- Planificación y seguimiento de las etapas de desarrollo: Dividir el ciclo de crecimiento de la sandía en etapas claramente definidas y documentar los requisitos hídricos específicos para cada una de ellas. Esto va a permitir realizar un seguimiento preciso y aplicar el riego de manera más efectiva.
- Adaptación a las necesidades de cada variedad: Asegurar de que el manejo del estrés hídrico sea personalizado para cada variedad de sandía. Esto implica ajustar la cantidad de agua suministrada en función de las características específicas de cada variedad.
- Control de labores agrícolas según etapa: Implementar un calendario de labores agrícolas que esté en sincronía con las necesidades hídricas de cada etapa de desarrollo de la sandía. Asegurarse de que estas labores se realicen de manera oportuna para optimizar el rendimiento del cultivo.
- Supervisión continua de las láminas de riego: Mantener un monitoreo constante de las condiciones del suelo y del estado de las plantas para ajustar las láminas de riego según sea necesario. Seguir utilizando tecnología o herramientas de medición para obtener datos precisos que respalden las decisiones de riego.
- Capacitación del personal: Capacitar sobre la importancia de la gestión del estrés hídrico y cómo implementar las recomendaciones específicas para cada etapa y variedad de sandía. La colaboración y comprensión de todo el equipo es fundamental.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APG III. (2009). *An update of the angiosperm phylonegy group classification for the orders and families of flowering plants*. APG III. Bot. J. Linn. Soc. 161: 105 – 121.
- Baeza, R., Cánovas, G., Alonso, F. y Contreras, J. (2020). *Uso de Tensiómetros Manuales y Electrónicos para la Gestión del Riego*. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Castagnino, A. (2008). *Manual de Cultivos Hortícolas innovadores*. 1ra Edición. Editorial hemisferio sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 356 p.
- Crawford, H. (2017). *Manual de manejo agronómico para cultivo de sandía Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. et Nakai*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6667/NR40898.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C. y Martin, A. (2009) *Requerimientos de clima y suelo. Manual del cultivo de sandía (Citrullus lanatus) y Melón (Cucumis Melo L.)*. Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. 51pp.
- FAO Dirección de Producción y Protección Vegetal. (2002). *El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo*. <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s08.htm>

- FAO (2021). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite*. Informe de síntesis 2021. Roma.
<https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAO (Food and Agriculture Organization) *Land and Water Division*. (2022). *Crop Water Information: Watermelon* ://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/watermelon/en/
- Fernández, R. et al. (2010). *Manual de riego para agricultura*. Junta de Andalucía.
- Fornaris, G. J. (2015). *Características de la planta*. En Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez Colegio de Ciencias Agrícolas Estación experimental agrícola (Ed.), *Conjunto Tecnológico para la Producción de Sandía*.
<https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/09/2.-SANDIA-CARACTERISTICAS-DE-LA-PLANTA-version-2015.internet.pdf>
- Juarez, B. (2008). *Programa de mejoramiento genético de sandía en Seminis*. Seminis Vegetable Seeds inc. Woodland, California, Estados Unidos.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N. y Olgún, A. (Eds.). (2015). *Manual de capacitación. Riego por goteo*. Vol. 1a ed. edición especial. Rivadavia: Marta Laura Paz.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Netafim. (2012). *Guías para el mantenimiento de sistemas de riego* (p. 44). p. 44. Retrieved from http://www.netafim.fr/data/uploads/120430_preventive_maintenance_guide_spanish_1.pdf
- Paredes, C., (2017). *Manejo agronómico del cultivo de sandía (Citrullus lanatus) (Thunb.), para producción de semilla, bajo condiciones de Villacurí – Ica*. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. 48pp.
- RainBird. (2015). *Manual del Usuario Rain bird*. USA.
- Rivulis. (2015). *Katif, Goteros en Línea autocompensantes*. Retrieved from http://rivulis.com/wpcontent/uploads/2014/11/RIV_DS_Katif_R2_SP_W14_020_5.pdf
- Santos, L. (2010). *El Riego Y Sus Tecnologías* (1st ed.). <https://doi.org/10.1093/jxb/erg039>.