

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LA DORMICIÓN DE DIFERENTES
MATERIALES GENÉTICOS DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y SU
RESPUESTA AL AMBIENTE DE ALMACENAMIENTO**

por

Mathias GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2024

Hoja de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. Dra. Paula Colnago

Tribunal:

Francisco Vilaró

Fernanda Záccari

Fecha: 9 de agosto de 2024

Estudiante:

Mathias Alejandro González Rodríguez

Agradecimientos

A mi familia por estar siempre presente y por el apoyo incondicional durante estos años, dando ánimo para poder culminar este trabajo final.

A Paula Colnago por el aporte, apoyo, exigencia, dedicación y paciencia a lo largo de todo este proceso de realización de este trabajo.

A Bettina Lado por la colaboración brindada para la realización de este trabajo.

A los funcionarios del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía que estuvieron a la orden y dando apoyo para poder llevar adelante este ensayo.

Tabla de contenido

Hoja de aprobación	2
Agradecimientos	3
Lista de Tablas y Figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. EL CULTIVO DE PAPA: GENERALIDADES	11
2.2. IMPORTANCIA DEL CULTIVO EN URUGUAY.....	12
2.3. SEMILLA Y ORIGEN SEGÚN EPOCA DE PLANTACIÓN	13
2.3.1. Ciclo de otoño	13
2.3.2. Ciclo de primavera	13
2.4. Factores que afectan el rendimiento	14
2.4.1. Rendimiento potencial.....	16
2.4.2. Rendimiento alcanzable	17
2.4.3. Rendimiento actual.....	19
2.5. Dormición	20
2.5.1. Concepto de dormición y sus características	20
2.5.2. Factores que influyen en la dormición	22
2.5.3. Hormonas vegetales involucradas en la dormición.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Lugar de ensayo	25
3.2. Materiales genéticos usados y su procedencia	25
3.2.1. Red Magic.....	25
3.2.2. INIA Arequita	25

3.2.3. INIA Kiyú.....	26
3.3. Procedencia	27
3.4. Ambientes de conservación	27
3.5. Evaluaciones	29
3.5.1. Pérdida de peso	29
3.5.2. Porcentaje de brotación	30
3.5.3. Tiempo térmico	31
3.5.4. Tasa de crecimiento de brotes.....	31
3.5.5. Ruptura de la dormición	32
3.6. Diseño experimental	33
4. RESULTADOS.....	34
4.1. Pérdida de peso	34
4.2. Caracterización de la dormición.....	36
4.2.1. Ruptura de la dormición	36
4.2.2. Evolución de la brotación durante el almacenamiento.....	39
4.3. Tasa de crecimiento	43
5. DISCUSIÓN	45
6. CONCLUSIONES	52
7. BIBLIOGRAFÍA.....	53
8. ANEXO	62

Lista de Tablas y Figuras

Tabla No	Página
Tabla 1 <i>Sistema de producción de papa para consumo</i>	14
Tabla 2 <i>Estado fisiológico de los tubérculos</i>	17
Tabla 3 <i>Absorción de nutrientes/tonelada de papa producida</i>	18
Tabla 4 <i>Características de las variedades evaluadas</i>	26
Tabla 5 <i>Resumen de actividades en el cultivo</i>	27
Tabla 6 <i>Tratamientos</i>	28
Tabla 7 <i>Pérdida de peso acumulado (PPA%)</i>	35
Tabla 8 <i>Tiempo térmico acumulado a 50 y 80% de brotación</i>	36
Tabla 9 <i>Brotación total (36 DDi) de las variedades a 20 y 30°C</i>	39
Tabla 10 <i>Anava tipo de brotación a 36, 41, y 48 DDi</i>	41
Tabla 11 <i>Brotación apical a los 36 DDi</i>	42
Tabla 12 <i>Brotación apical-múltiple a los 41 y 48 DDi</i>	42
Tabla 13 <i>Brotación apical a los 48 DDi por ambiente</i>	43
Tabla 14 <i>Tasas de crecimiento de brote principal</i>	43
Tabla 15 <i>Tasas de crecimiento según ambiente</i>	44
Figura No	Página
Figura 1 <i>Factores que definen el rendimiento</i>	15
Figura 2 <i>Materiales genéticos</i>	26
Figura 3 <i>Ambientes de evaluación</i>	28
Figura 4 <i>Tubérculos en los ambientes a 20 °C (A) y 30 °C (B)</i>	30
Figura 5 <i>Medición de brote</i>	32
Figura 6 <i>Pérdida de peso según variedad</i>	35
Figura 7 <i>Brotación total de los materiales genéticos</i>	38
Figura 8 <i>Evolución de la brotación</i>	40
Figura 9 <i>Crecimiento de brotes (mm) en función del tiempo (d) para los tres materiales</i>	44

Resumen

El objetivo de este trabajo fue contribuir al conocimiento del manejo de la semilla de papa estudiando la dormición y su evolución durante el almacenamiento en tres materiales genéticos diferentes (INIA Kiyú, Red Magic e INIA Arequita). Se analizó el efecto de tres ambientes contrastantes (galpón sin control de temperatura, cámara a 20 °C y solarío a 30 °C) sobre la dormición de los tubérculos-semillas y se realizaron diferentes evaluaciones: pérdida de peso, ruptura de la dormición (a través de la utilización del tiempo térmico), brotación y tipo de brotación y tasa de crecimiento de brotes. La pérdida de peso fue mayor en los ambientes de 20 °C (Biotrón) y 30 °C (solarío) en comparación con el galpón marcando un claro efecto de la temperatura sobre esta variable. La duración de la dormición se vio afectada por la variedad y por la temperatura de los ambientes de almacenamiento, siendo INIA Kiyú el material genético con menor dormición (33 días desde la instalación del ensayo a 20 y 30 °C) seguido por INIA Arequita (34 y 41 días a 20 y 30 °C) y Red Magic (48 y 47 días a 20 y 30°C). Hubo una clara diferencia entre los ambientes de 20 y 30 °C respecto al galpón. En el ambiente del galpón no se levantó la dormición alcanzando bajos porcentaje de brotación (3,3% y 6,7% de brotación para las variedades INIA Arequita e INIA Kiyú a los 55 días desde la instalación del ensayo). El tipo de brotación se vio afectado por el ambiente. A 30 °C se estimuló la brotación múltiple. INIA Kiyú y Red Magic mostraron mayor tendencia a la brotación múltiple, en cambio INIA Arequita tuvo mayor dominancia apical, 87%, 71% y 44% a los 36, 41 y 48 DDi respectivamente. En cuanto a la tasa de crecimiento, los ambientes controlados estimularon el crecimiento de brotes en los tubérculos-semillas en comparación con el galpón. Se obtuvieron brotes más largos a 20 °C en relación a 30 °C.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, dormición, brotación, tubérculos-semilla

Abstract

The objective of this work was to contribute to the knowledge of potato seed management by studying dormancy and its evolution during the storage of three different genetic materials (INIA Kiyú, Red Magic and INIA Arequita). The effect of three contrasting environments (shed, 20 °C and 30 °C) on the dormancy of seed tubers was analyzed. Different evaluations were carried out: weight loss, dormancy rupture (through the use of thermal time), sprouting and sprouting type and sprout growth rate. Weight loss was greater in the environments of 20 °C (Biotrón) and 30 °C (solarium) compared to the shed. The duration of dormancy was affected by the variety and the temperature of the storage environments, with INIA Kiyú being the genetic material with the lesser dormancy, needing fewer days (33 days) to reach 80% sprouting (reference threshold) followed by INIA Arequita and Red Magic. Additionally, it was a clear difference between 20 and 30 °C environments (chamber and solarium respectively) compared to the shed. In the latter it was not possible to release dormancy, achieving low percentages of sprouting towards the end of the experiment. The type of sprouting was affected by the storage environment. At 30 °C, multiple sprouting was stimulated. INIA Kiyú and Red Magic showed more tendency to multiple sprouting, on the other hand, INIA Arequita had more apical dominance 87%, 71% y 44% a los 36, 41 y 48 DDi respectively. Regarding the growth rate, the controlled environments (chamber and solarium) stimulated the growth of sprouts in the seed tubers compared to the shed. Longer shoots were obtain at 20 °C compared with 30° C environments.

Keywords: Solanum tuberosum, dormancy, sprouting, potato-seed

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país el cultivo de papa es la principal hortaliza teniendo en cuenta el volumen de producción y su consumo. Alcanza un rendimiento promedio de 25 toneladas por hectárea (Ackermann & Díaz, 2022).

La calidad de los tubérculos semilla de papa implica además de aspectos sanitarios y genéticos su condición fisiológica apropiada para el destino del cultivo, determinada por el estado de brotación de los tubérculos y su edad. Las condiciones climáticas en nuestro país permiten más de un ciclo de cultivo al año, siendo el otoño y la primavera las principales épocas para instalar el cultivo.

Para cada época de siembra se requiere contar con semilla en correcto estado fisiológico para la rápida instalación del cultivo. Considerar que nuestros periodos favorables de cultivo son relativamente cortos (3 a 4 meses).

El estado de brotación de los tubérculos depende además de la genética (variedad) de la condición fisiológica de la semilla, las condiciones agroclimáticas durante el crecimiento del cultivo, su manejo del cultivo y el de la cosecha, así como de las variables ambientales (principalmente temperatura y humedad relativa) durante el período de conservación de los tubérculos. Estos aspectos complejizan el manejo dificultando que un productor no especializado en el rubro cuente con semilla de calidad sanitaria y fisiológica adecuada para cada época de cultivo.

La siembra de la primavera en el sur se realiza a partir de agosto y durante todo setiembre. Se instala con semilla producida en el otoño (cosecha mayo-junio), por lo que se trata de tubérculos fisiológicamente muy jóvenes. Este aspecto puede retrasar la siembra o bien demorar la emergencia del cultivo corriendo el ciclo hacia el verano, con temperaturas menos favorables para una buena tuberización.

Caracterizar la dormición en nuevos materiales genéticos de papa es de interés para un correcto manejo del almacenamiento, fundamentalmente en tubérculos destinados a semilla, de manera de prevenir su envejecimiento o promover su brotación de acuerdo de la época de siembra y los objetivos productivos. El tipo de brotación de los tubérculos semilla, puede condicionar

además el ajuste de la densidad de plantación del cultivo, en la medida que condiciona el número de tallos por planta y en consecuencia el tamaño de los tubérculos. También afecta el largo del ciclo de cultivo y el inicio de la tuberización.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento del manejo de la semilla de papa través del estudio de la dormición y su evolución durante el almacenamiento de una variedad nacional, una extranjera y un nuevo clon recientemente liberado como variedad comercial.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar la dormición de los materiales genéticos utilizando la acumulación de tiempo térmico como variable.

Estudiar la evolución de la brotación de los tubérculos semilla durante el almacenamiento a distintas temperaturas (galpón sin control, cámara 20 °C y solarío 30 °C) determinando el período hasta brotación apical, brotación múltiple y la tasa de crecimiento de los brotes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CULTIVO DE PAPA: GENERALIDADES

Este cultivo pertenece a la familia de las solanáceas al igual que el tomate y morrón, es una planta herbácea anual que produce un tubérculo que es lo que finalmente se cosecha. Su origen son las áreas montañosas de la región Andina y es el cuarto cultivo en importancia a nivel mundial detrás del trigo, maíz y arroz (Velástegui-Espín et al., 2018).

El cultivo tiene respuesta al fotoperiodo corto, lo que acelera la tuberización ya que esto indica condiciones ambientales desfavorables (descenso de temperatura debido al comienzo del invierno) para este cultivo, pero la respuesta es diferencial de acuerdo a las variedades. La percepción del fotoperiodo ocurre en la hoja y se transmite a los estolones para que se formen los tubérculos (Rodríguez-Pérez, 2010).

Es un cultivo con metabolismo C_3 que se adapta a climas fríos pero es sensible a las heladas: temperaturas de 0 °C pueden provocar daños en el cultivo y por debajo 0 °C pueden provocar grandes daños en la parte aérea generando con el paso del tiempo la destrucción total del follaje (Arribillaga, 2013).

La temperatura mínima de crecimiento es de 5 °C, mientras que la temperatura máxima es de 30 °C, si las temperaturas son inferiores o superiores a dicho rango afectan irreversiblemente el desarrollo del cultivo. Temperaturas mayores a 30 °C afectan la fotosíntesis y la asimilación de carbono lo que determina la disminución en el crecimiento y en consecuencia el rendimiento. Las temperaturas óptimas rondan los 18-25 °C en el día y 8-15 °C en la noche (Barona et al., 2015) y para tuberizar son entre 15 y 18 °C (Rodríguez-Pérez, 2010).

La papa necesita una variación de la temperatura diurna y nocturna de por lo menos 10 °C, si esta diferencia es menor se ve afectada la tuberización, esta situación puede afectar el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Molina et al., 2004).

El tubérculo durante su desarrollo pasa por distintos estados, dormición, brotación apical, brotación múltiple y senescencia. La edad fisiológica se vincula al proceso de desarrollo de los brotes y depende tanto de la edad cronológica (que se refiere a la edad del tubérculo desde que inicia el desarrollo hasta su cosecha) como de los factores ambientales y de manejo (Méndez & Inostroza, 2009).

2.2. IMPORTANCIA DEL CULTIVO EN URUGUAY

Según el anuario estadístico de 2022 para la zafra 2020/21 la superficie total del cultivo fue de 3805 ha y el consumo por habitante se estima en 30 kg/habitante/año (Samuelle, 2019).

En nuestro país la producción de este cultivo es destinada al mercado interno, del 100% de la producción total el 90% se destina para el consumo en fresco, el 9% para la producción de semilla para el siguiente período de siembra y el 1% restante para la industrialización (Ackermann & Díaz, 2022).

En la primavera se sembraron 1372 ha y en otoño 2433 ha. Es un cultivo que se encuentra localizado principalmente en la zona sur con alrededor del 89% de la superficie, seguido de 10% para el este y 1% el norte (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2022). La producción total para la misma zafra fue de 93 mil toneladas, teniendo un rendimiento promedio de 24,5 ton/ha. Las principales variedades sembradas en primavera fueron Red Magic (26%), Chieftain (22%) y Arequita (11%) y en otoño Chieftain (22,8%), Red Magic (20,8%) y Rudolph (21,3%) (DIEA, 2022).

El ciclo del cultivo en ambas épocas (otoño y primavera) no supera los 4 meses, esto sucede por los extremos de temperatura (temperaturas muy altas hacia el final del ciclo de primavera y temperaturas bajas hacia el final del ciclo de otoño). Se utilizan cultivares nacionales y cultivares extranjeros, estos últimos se desarrollan en el hemisferio norte donde solamente hay una época de plantación en el año, por lo tanto tienen un período de dormición prolongado y su abastecimiento depende de la renovación anual de semilla desde el exterior o necesitan ser almacenados en frío (Vilaró et al., 2004).

Estos cultivares en general tienen mejor comportamiento agronómico relativo, en el ciclo de otoño en comparación con el ciclo de primavera, ya que en esta época (primavera) las condiciones hacia el final del cultivo son desfavorables para las plantas por las altas temperaturas y déficit hídrico, afectando la tuberización (Vilaró et al., 2004).

2.3. SEMILLA Y ORIGEN SEGÚN EPOCA DE PLANTACIÓN

2.3.1. Ciclo de otoño

La semilla utilizada en este ciclo puede tener diferentes orígenes. Las variedades importadas provienen del Hemisferio Norte, teniendo como característica una dormición media a larga: de 12 a 15 semanas (Colnago et al., 2019). Es por esto que estas variedades están mejor adaptadas al ciclo de otoño con un clima más fresco (Colnago et al., 2019).

Al momento de la siembra en nuestro país, tienen entre 3 y 4 meses desde su cosecha y están iniciando la brotación. Su edad fisiológica joven limita su uso para la multiplicación (Vilaró, 2008) ya que se registra un crecimiento y desarrollo tardío.

Otro origen posible es utilizar semillas producidas en el otoño anterior que se conservan en cámaras frigoríficas a 2-4 °C durante 6 meses hasta el verano (Vilaró, 2008) que es cuando se siembra el cultivo de otoño. Esta semilla cumplió su dormición y presenta mejor estado de brotación a su siembra. Es importante considerar el tiempo transcurrido entre que salen de la cámara frigorífica hasta la siembra, para promover la brotación de varias yemas y evitar su envejecimiento.

Por último la tercera alternativa es la cosecha temprana del ciclo de primavera con variedades nacionales que presentan dormición corta, de 9 a 10 semanas, en este caso serían semillas fisiológicamente relativamente jóvenes (Colnago et al., 2019) para su utilización como semilla en el cultivo de otoño siguiente.

2.3.2. Ciclo de primavera

Para este ciclo pueden usarse tubérculos-semillas cosechados en el ciclo de otoño anterior, en donde el tiempo entre el fin del ciclo de otoño y el inicio de la siembra de primavera (3 a 4 meses) es suficiente para que estos tubérculos superen el período de dormición. Esta semilla que se cosecha en otoño es fisiológicamente joven (recién comienza a levantar la dormición) al igual que la semilla importada en otoño.

Otra alternativa es usar semillas de la primavera del año anterior que se almacenan en cámaras de frío (Aldabe Dini et al., 2001).

También se realizan cultivos de papa en el norte del país, en Tacuarembó y Salto donde se hacen cultivos tempranos de primavera. Si bien la información del Cuadro 1 fue obtenida de DIEA (2022) en el norte la siembra fue remplazada en parte, por la siembra temprana en la costa del Río de la Plata en los meses de julio-agosto, a su vez no es recomendable para la región norte del país plantar en enero porque la temperatura del suelo no lo permitiría.

Por último en el este de Uruguay, Maldonado y Rocha, se producen cultivos tardíos de primavera, debido a la cercanía de esta zona del país al océano, las temperaturas durante el verano son más frescas, permitiendo condiciones más favorables para el cultivo en esa época.

En resumen en nuestro país se produce este cultivo en 3 zonas y con distintos objetivos según cada zona, como muestra el Tabla N°1.

Tabla 1

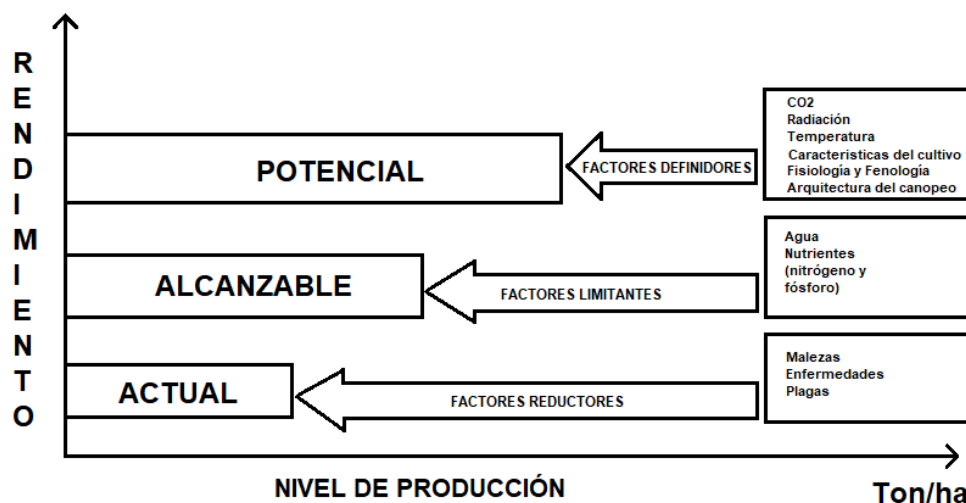
Sistema de producción de papa para consumo

Zona	Siembra	Cosecha	Objetivo
Norte	Jul-Ago	Nov-Dic	Primor
Sur	Jul-Set	Dic-Feb	Primor-Estación
Este	Oct-Dic	Ene-Mar	Verano
Norte	Ene-Feb	May-Ago	Invierno
Sur	Ene-Feb	May-Ago	Invierno
Este	Ene-Feb	May-Ago	Invierno

Nota. Tomado de DIEA (2022).

2.4. Factores que afectan el rendimiento

De acuerdo a los factores que determinan distintos niveles de rendimiento podemos agrupar factores que determinan el rendimiento potencial, factores que determinan el rendimiento alcanzable y factores que determinan el rendimiento actual (Van Ittersum & Rabbinge, 1997).

Figura 1*Factores que definen el rendimiento*

Nota. Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge (1997).

El rendimiento potencial de un cultivo se define como el rendimiento que obtiene ese cultivo creciendo sin limitaciones de agua, nutrientes y con control de plagas y enfermedades, por lo que va a depender solamente de factores determinantes del crecimiento y el desarrollo: el genotipo, la disponibilidad de luz, temperatura, fotoperiodo y el contenido de CO₂ (Berger et al., 2018).

El rendimiento alcanzable de un cultivo depende de las características agroecológicas que van a estar presentes en la zona de producción y también depende de las demandas eco-fisiológicas del cultivo como por ejemplo la demanda de agua y nutrientes.

Finalmente, el rendimiento actual obtenido está afectado por factores reductores del rendimiento como las malezas que compiten directamente con los cultivos por recursos naturales y espacio, las enfermedades y las plagas que afectan a los cultivos disminuyendo el rendimiento final.

2.4.1. Rendimiento potencial

Está determinado por los siguientes factores: temperatura, radiación, fisiología-fenología del cultivo, CO₂, edad fisiológica de la semilla y fotoperiodo.

La radiación fotosintéticamente activa que es interceptada por el follaje del cultivo depende de la radiación incidente, y por lo tanto de la zona de producción y ciclo del cultivo que estemos realizando (otoño o primavera), la variedad y del arreglo espacial de las plantas de acuerdo a la densidad y marco de plantación (Rodríguez-Pérez, 2010).

El CO₂ es determinante en la fotosíntesis, productividad y rendimiento final (Rodríguez-Pérez, 2010). De acuerdo a investigaciones mencionadas por estos autores se ha documentado que si el cultivo de papa está expuesto a altas concentraciones de CO₂ (720 ml l⁻¹) por largos períodos, la fotosíntesis se incrementa entre un 10 y 40% (Rodríguez-Pérez, 2010).

En general las plantas de papas que están expuestas a altas concentraciones de CO₂ presentan diversas respuestas como por ejemplo: aumento del rendimiento de los tubérculos, reducción en la biomasa traslocada a tallos, flores y hojas e incremento en la tasa de translocación de materia seca a los tubérculos (Rodríguez-Pérez, 2010).

Otro de los factores influyentes en el potencial productivo de la variedad es la edad fisiológica del tubérculo-semilla.

La edad fisiológica afecta el rendimiento del cultivo futuro a través de la emergencia del cultivo, número de tallos por tubérculo, el tiempo hasta el inicio de la tuberización, vigor y crecimiento del cultivo, distribución de materia seca y rendimiento final (Caldiz et al., 2001).

La importancia de la edad fisiológica también radica en que el avance de la misma puede modificar características bioquímicas, fisiológicas y agronómicas, no solo de las plantas, sino también de los tubérculos resultantes de estas (Caldiz et al., 1996).

Los cultivos desarrollados a partir de tubérculos-semilla fisiológicamente jóvenes tienen un período de crecimiento del cultivo más largo teniendo un rendimiento final mayor. Por otro lado las plantas provenientes de tubérculos-semilla fisiológicamente más viejos (con más brotes) desarrollaran su área foliar más rápido pero el cultivo va a madurar más temprano generando un rendimiento final más reducido (Tabla N°2) (Méndez & Inostroza, 2009).

Tabla 2*Estado fisiológico de los tubérculos*

Edad fisiológica	Joven				Viejo
Estado fisiológico	Reposo	Dominancia apical	Brotación múltiple	Senescencia	
Brotación	Ausencia de brotes	Solo brotes apicales	Varios brotes	Ramificación brotes	
Condiciones de cultivo	Ausencia de emergencia	Un tallo por planta	Muchos tallos	Plantas débiles	

Nota. Adaptado de Méndez e Inostroza (2009).**2.4.2. Rendimiento alcanzable**

El déficit hídrico provoca la reducción del crecimiento de la planta ya que se inhibe la expansión celular, porque disminuye la turgencia que se requiere para la expansión celular y en consecuencia disminuye el crecimiento de las hojas, tallos y raíces. La sequía en este cultivo antes de afectar el rendimiento, afecta el crecimiento vegetativo afectando tallos y tamaño y número de hojas (Pino, 2016).

Un déficit hídrico a inicio de tuberización disminuye el número de tubérculos y aumenta el riesgo de incidencia de sarna común en la piel. El déficit hídrico durante el crecimiento y llenado de los tubérculos afecta la calidad debido a que pueden aparecer grietas, deformaciones y crecimientos secundarios (Arribillaga, 2013) y limita el rendimiento al reducir tamaño de los tubérculos.

En cuanto al suelo, sus características físicas y químicas tienen influencia en la disponibilidad de los nutrientes para la planta. Las restricciones en el crecimiento radicular por la compactación o poca profundidad provocan una reducción en la extracción de los nutrientes. Las bajas temperaturas del suelo durante el crecimiento de la planta reducen la actividad de la raíz y su crecimiento disminuyendo la absorción de los nutrientes (Méndez & Meier, 2019).

Este cultivo tiene una gran demanda de nutrientes sobre todo nitrógeno, fósforo y potasio durante todo el ciclo. Es importante la disponibilidad de los nutrientes para una buena producción en términos de calidad y cantidad teniendo en cuenta que el manejo adecuado de la fertilización requiere conocer la disponibilidad de nutrientes del suelo y relacionarla a la demanda del cultivo, la cual está asociada a la etapa fenológica, la variedad, condiciones ambientales y a

la expectativa de rendimiento (Sifuentes et al., 2013). A modo de referencia en la tabla N °3 se muestra los kilogramos de N-P-K absorbidos por tonelada de papa producida.

Tabla 3

Absorción de nutrientes/tonelada de papa producida

Cultivo/Nutriente	N (kg/t)	P (kg/t)	K (kg/t)
Papa (<i>S. tuberosum</i>)	5,5	0,9	8,2

Nota. Adaptado de Ciampitti y García (2007).

Este cultivo tiene una alta tasa de respuesta a la fertilización debido a que tiene un índice de cosecha elevado cercano al 76% y presenta una baja densidad radicular lo que hace que se vea limitada la eficiencia de absorción de los nutrientes. La demanda de nutrientes es alta y es necesario aplicarlos en el momento óptimo de desarrollo (Méndez & Meier, 2019).

El nitrógeno es un nutriente muy importante para las plantas ya que forma parte de varios compuestos orgánicos como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, entre otros. Favorece el crecimiento vegetativo pero en exceso provoca un crecimiento foliar excesivo lo que puede retrasar el comienzo de la tuberización, alargando el ciclo del cultivo, e incrementar la susceptibilidad a enfermedades y plagas (Barona et al., 2015).

El fósforo también es importante ya que si hay una buena disponibilidad al inicio de la tuberización se asegura que se forme una gran cantidad de tubérculos. La deficiencia de este nutriente provoca la reducción del vigor inicial, retrasando la madurez y reduciendo el rendimiento final del cultivo (Barona et al., 2015).

En cuanto al potasio la papa necesita grandes cantidades, porque este nutriente es muy importante en varias funciones metabólicas como el movimiento de azúcares hacia los tubérculos desde las hojas y también promueve la transformación de azúcar en el almidón de la papa. Su deficiencia provoca una reducción del rendimiento y de la calidad de los tubérculos, disminuyendo también la resistencia a enfermedades (Barona et al., 2015).

2.4.3. Rendimiento actual

El rendimiento actual es afectado por tres grandes factores malezas, plagas y enfermedades.

En el cultivo de papa, el momento crítico para el control de las malezas es de seis semanas después de la plantación ya que es cuando las plantas están formando las hojas y tallos. Cuando las plantas crecen y su follaje cubre el suelo las malezas tienen pocas posibilidades de desarrollo (Huarte & Capezio, 2013).

Existen muchos patógenos que causan enfermedades en el cultivo, *Phytophthora infestans* (tizón tardío) y *Alternaria solani* (tizón temprano) son las enfermedades fúngicas de mayor importancia en nuestras condiciones, y provocan lesiones necróticas en las hojas que afectan la capacidad fotosintética de la planta.

En particular para *P. infestans* si la enfermedad progresa, se puede defoliar el cultivo completamente. También puede afectar a los tubérculos con lesiones irregulares y ligeramente hundidas lo que perjudica la calidad de los mismos y puede reducir el rendimiento comercial (Huarte & Capezio, 2013).

Respecto a las enfermedades causadas por bacterias, en nuestro país se destaca la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*. Esta enfermedad puede causar síntomas en las hojas, tallos y en los tubérculos. En las hojas causa marchitamiento y si el progreso de la enfermedad es violento todas las hojas pueden marchitarse rápidamente (Acuña et al., 2021).

En tallos se observan líneas oscuras y angostas que corresponden a los haces vasculares infectados y si la enfermedad está bien establecida los tubérculos pueden presentar una decoloración gris parduzca, los tubérculos también pueden presentar una decoloración vascular (Acuña et al., 2021).

Dentro de las enfermedades causadas por virus tenemos el PLRV (enrollamiento de la hoja) que se puede transmitir por la utilización de tubérculos infectados usados como semillas o a través de vectores como el áfido *Myzus persicae* transmitiéndolo de manera persistente. Por otro lado también está el PVY (mosaico severo) que se transmite por tubérculos infectados, de forma mecánica y aproximadamente por 25 especies de áfidos (Acuña & Tejeda, 2014).

Este cultivo también es afectado por los nematodos, que son organismos de tamaño microscópico que pueden vivir en vida libre o pueden ser fitoparasitarios, estos últimos son los que pueden causar daños considerables en

los cultivos. Pueden provocar síntomas en la parte aérea como por ejemplo formación de agallas, decoloración en las hojas, necrosis del tallo y en la parte subterránea agallas, quistes en las raíces, escasez y lesiones en las raíces y necrosis en tubérculos (López-Nicora et al., 2021).

Dentro de las plagas que afectan al cultivo de papa se destacan los pulgones que forman colonias en las plantas infectadas, provocando daños directos al alimentarse de la savia y también indirectamente transmitiendo enfermedades causadas por virus como PLRV y PVY (Salas et al., 2016b).

También la polilla de la papa (*Phthorimaea operculella*), en donde las larvas de este insecto a través de su aparato bucal masticador-mordedor se alimentan y producen galerías en hojas, tallos, brotes y tubérculos, estos daños directos debilitan a la planta y generan la muerte de los centros de crecimiento y quiebre de los tallos (Salas et al., 2016a).

Los trips también son especies plagas para este cultivo, particularmente la hembra debido a que es quien realiza la oviposición y las larvas se alimentan de los tejidos. A su vez estos insectos tienen la capacidad de transmitir virus, en particular el TSWV (Huarte & Capezio, 2013).

2.5. Dormición

Como fue señalado en los factores que intervienen en la definición del rendimiento, el estado de brotación de los tubérculos impacta en el rendimiento potencial. La dormición de los materiales genéticos es una característica importante para definir un correcto manejo de la semilla de acuerdo a distintos propósitos productivos.

2.5.1. Concepto de dormición y sus características

La dormición se induce cuando se inicia el proceso de tuberización y se define como el estado en el cual no hay crecimiento visible de los brotes (Rodríguez & Moreno, 2010). También se asocia a un balance hormonal que incluye un aumento de la concentración del ácido giberélico y disminución del ácido abscísico (Méndez & Inostroza, 2009).

Cuando se inicia la tuberización y por un período de tiempo determinado (después de cosechados los tubérculos) las yemas no brotan, la brotación de estas yemas está afectada por factores internos del tubérculo. En ese momento, si las

condiciones ambientales son favorables, van a continuar sin brotar. A medida que transcurre el tiempo estos tubérculos pierden la dormición y comienza la brotación (Méndez & Inostroza, 2009).

La dormición es una estrategia que presenta la especie para la supervivencia del tubérculo (o semilla) en condiciones ambientales desfavorables (Velástegui-Espín et al., 2018). Este estado posibilita a muchos cultivos a aumentar considerablemente la resistencia a la acción dañina del frío y de las heladas, de las altas temperatura, o períodos de falta de agua, entre otros factores que afectan a los cultivos.

Las papas se consideran que están brotadas cuando el 80% de los tubérculos presentan brotes visibles de 3 mm de longitud (Visse-Mansiaux et al., 2022).

Es importante saber la duración de este período ya que determinará la fecha de siembra, y si no conocemos el final de la dormición para una variedad, podemos llegar a sembrar tubérculos en reposo que den lugar a plantas con una emergencia desuniforme y con un solo tallo por planta, lo cual no es deseable (Méndez & Inostroza, 2009).

Es posible identificar tres tipos de dormición: la endodormición, la paradormición y la ecodormición.

La endodormición ocurre después de la cosecha de la papa y está afectada por el estado fisiológico interno del tubérculo (Suttle, 1998) siendo las hormonas vegetales las principales en regular la endodormición (Muthoni et al., 2014). La ecodormición se produce cuando las condiciones del ambiente impiden que los tubérculos broten, un ejemplo son los tubérculos semillas almacenados a bajas temperaturas logrando que su período de dormición se alargue (Mani et al., 2014).

A medida que transcurre el tiempo, se inactiva la endodormición, dando lugar a la brotación apical inhibiendo el desarrollo del resto de los brotes, esto se conoce como paradormición (Velástegui-Espín et al., 2018).

2.5.2. Factores que influyen en la dormición

La duración del período de dormición es variable, pudiendo durar desde menos de un mes hasta varios meses. Esta duración no se relaciona con la duración del período vegetativo; por ejemplo una variedad precoz no tiene por qué tener una dormición corta (Méndez & Inostroza, 2009).

La duración del periodo de dormición depende en primer instancia del genotipo (Viola et al., 2007). Estudios realizados por Visse-Mansiaux et al. (2022) para predecir la dormición durante el almacenamiento, utilizando 537 variedades de papa y Kwambai et al. (2023) utilizando 47 genotipos para caracterizar la dormición y la edad fisiológica de las variedades de papa, concluyeron que la genética es el principal factor en generar diferencias en la duración de la dormición.

Las condiciones previas en las que se llevó a cabo la producción del cultivo también afectan la longitud de la dormición. Las altas temperaturas, baja humedad y baja fertilidad del suelo durante el crecimiento del cultivo aceleran el desarrollo fisiológico y reducen el período de dormición (Méndez & Inostroza, 2009).

Las temperaturas a las cuales se almacena influyen en el largo de la dormición. Caldiz (1989) reporta un acortamiento de 18% en la duración de la dormición si la temperatura aumenta de 10 a 20 °C, mientras que si la temperatura disminuye de 10 a 5 °C se alarga un 67%. Las temperaturas mayores a 20 °C acortan el período de dormición ya que los procesos de envejecimiento fisiológico que ocurren dentro del tubérculo se aceleran llevando a una disminución de este período (Crisci, 1992).

Los daños que se producen por la cosecha y manipulación o por la presencia de enfermedades y plagas reducen el período de dormición. También el corte de los tubérculos puede producir brotación más temprana. Es importante conocer estos factores y controlarlos para poder obtener tubérculos de buena calidad y brotes vigorosos en los tubérculos-semilla (Méndez & Inostroza, 2009).

Los tubérculos que son inmaduros tienen en general un período de dormición más largo de poscosecha que los tubérculos que se cosecharon ya

maduros (Méndez & Inostroza, 2009) sin embargo la cosecha anticipada puede acelerar la brotación.

En la regulación de la dormición de los tubérculos las hormonas tienen un papel fundamental sobre todo en las fases de inducción y progresión. Ya que este período está regulado por concentraciones relativas de inhibidores y promotores de crecimiento, se hace difícil la interpretación de la interacción entre las hormonas. Por otro lado hay que tener en cuenta que los tejidos tienen sensibilidad diferente a las hormonas y que ésta cambia según la edad fisiológica de los tubérculos (Rodríguez & Moreno, 2010).

Otro factor que puede afectar la dormición es la exposición de los tubérculos a la luz difusa, que puede prevenir el envejecimiento de los tubérculos, aunque este efecto es específico del cultivo y depende también de la temperatura de almacenamiento (Struik, 2006).

2.5.3. Hormonas vegetales involucradas en la dormición

Las principales hormonas que influyen en la dormición del cultivo de papa son: ácido abscísico, etileno, ácido giberélico y citoquininas.

El ácido abscísico es necesario para inducir la dormición y para el mantenimiento de la misma. Los niveles de ABA aumentan durante la formación de los tubérculos, para mantenerse durante la dormición y bajar cuando comienzan a crecer los brotes (Velástegui-Espín et al., 2018). Se considera a esta hormona como la principal para el mantenimiento de la dormición, teniendo en cuenta que es necesario una presencia continua del ABA (Rodríguez & Moreno, 2010).

El etileno al igual que el ABA inhibe el crecimiento de los brotes, favoreciendo la dormición. La cantidad de etileno presente en los tubérculos aumenta una vez que estos son cosechados para luego ir disminuyendo (Velástegui-Espín et al., 2018). Estudios indican que un tratamiento breve con esta hormona promueve el fin de la dormición, mientras que si se aplica de manera continuase inhibe el crecimiento del brote causando acumulación de azúcares indeseables (Rodríguez & Moreno, 2010).

El ácido giberélico promueve el crecimiento del tubérculo cambiando la dirección de la división celular para producir expansión radial, en vez de

crecimiento longitudinal, resultando en el crecimiento y desarrollo del tubérculo (Velástegui-Espín et al., 2018).

En cuanto a las citoquininas hay evidencias que muestran que el incremento de esta hormona se asocia a la finalización de la dormición ya que la misma promueve la división celular, junto con las giberelinas que promueven el inicio del crecimiento de los brotes (Rodríguez & Moreno, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ensayo

El ensayo se realizó en la estación experimental Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, que se ubica en camino Folle Km 35.500 s/n (Latitud °36'58.33"S y Longitud 56°13'24.52"O) en Progreso, Canelones, entre el 7 julio y el 20 setiembre de 2022.

3.2. Materiales genéticos usados y su procedencia

Los materiales genéticos usados en este ensayo fueron INIA Kiyú del programa de mejoramiento de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA- Las Brujas, Uruguay) y las variedades INIA Arequita y Red Magic (Figura N°2).

3.2.1. Red Magic

Es una variedad extranjera, con origen en Estados Unidos. Es un material semitardío y sus tubérculos son de forma oblonga con color de piel rojo intenso y pulpa color blanco (Isterra Hungary, 2024). Presenta alta susceptibilidad al virus del mosaico de la papa y PLRV y moderada resistencia a la sarna común (*Streptomyces scabies*) (Isterra Hungary, 2024).

La información sobre su ciclo productivo y largo de la dormición no está disponible en las fichas publicadas de la variedad. En el Registro de Propiedad de Cultivares está detallado que el ciclo presenta una duración de 130 días, y el largo del período de dormición es de 18 semanas (F. Boschi, comunicación personal, 16 de abril, 2024).

3.2.2. INIA Arequita

Es una variedad desarrollada por INIA-Las Brujas. Sus tubérculos tienen forma oval alargada, su piel es lisa, de color rosado intenso y su pulpa de color crema pálida. Su período de dormición es medio de 80-90 días. Presenta resistencia completa al virus PVY, tolerancia a *Alternaria* y moderada susceptibilidad sarna común (*Streptomyces scabies*). El ciclo productivo tiene una duración aproximada de 100-120 días (González & Giménez, 2017).

3.2.3. INIA Kiyú

Este clon fue desarrollado por INIA- Las Brujas, sus tubérculos presentan forma oval, con la piel de color rojo intenso y la pulpa color amarilla-clara. Su dormición es media de 70-75 días. Tiene resistencia al virus PVY y buena tolerancia al calor, sequía, *Alternaria spp* y sarna común. El ciclo productivo es de 140 días (González Arcos et al., 2024).

En la tabla N°4 se observa un resumen de las características de los tres materiales genéticos evaluados.

Figura 2

Materiales genéticos

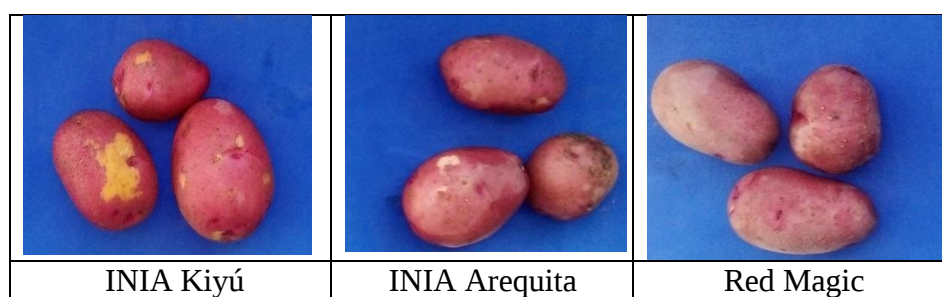


Tabla 4

Características de las variedades evaluadas

	Forma	Color pulpa	Color piel	Ojos
INIA Kiyú	Oval	Amarilla-clara	Rojo intenso	Poco marcados
INIA Arequita	Oval-alargada	Crema pálida	Rosado intenso	Mediana mente marcados
Red Magic	Oblonga	Blanco	Rojo intenso	Poco marcados

3.3. Procedencia

Los materiales genéticos utilizados en el ensayo provenían de un cultivo de otoño del este del país. Este follaje fue arrasado el 15 de mayo y cosechado el 15 de junio (Tabla N°5). El ensayo se instaló luego del período de curado (20 días posterior a la cosecha) lo que permitió la cicatrización de posibles heridas causadas durante la cosecha.

Tabla 5

Resumen de actividades en el cultivo

Actividad	Fecha	Condiciones
Instalación del cultivo	26/01/22	Campo
“Quemado”	15/5/ 22	Campo
Cosecha	15/6/22	Campo
Curado	15/6 – 6/7 22	Galpón sin control de temperatura
Instalación del ensayo	7/7 22	Galpón (G), 20 °C y 30 °C

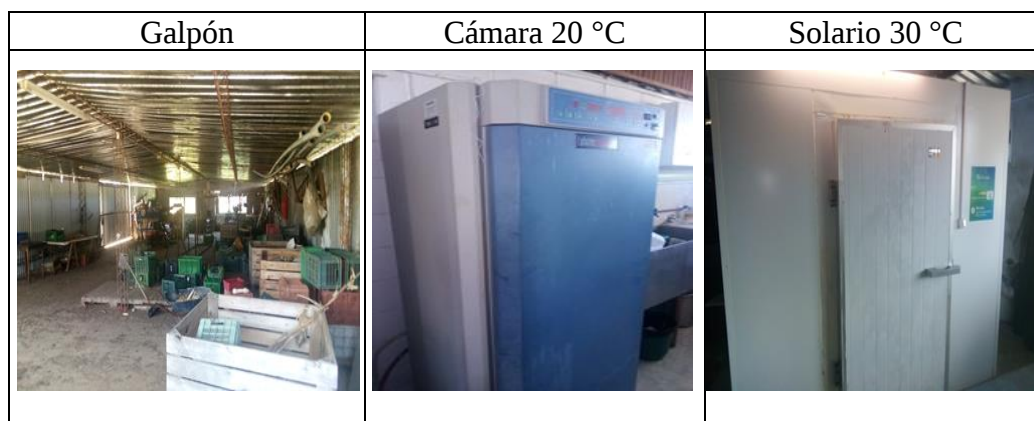
3.4. Ambientes de conservación

Para lograr los distintos ambientes se utilizaron dos cámaras con control de temperatura y un tercer ambiente sin control de temperatura.

Para el ambiente de 20 °C se utilizó un Biotrón manteniendo alta humedad relativa (80%) y ausencia de luz, (Biotrón LPH-300-RDS, Nippon Medical and Chemical Instruments Co., Tokyo, Japón) (Figura N°3). Se utilizó otra cámara de crecimiento (solario) para el ambiente de 30 °C en oscuridad y manteniendo alta la humedad relativa (70-80%) mojando regularmente el suelo.

Los tratamientos sin control de temperatura se instalaron en el galpón del CRS (Centro Regional Sur) de la Facultad de Agronomía. Este galpón está construido de bloques y techo de chapa. Las parcelas se colocaron en cajones calados y estos cajones fueron cubiertos con una malla sombra negro 80%, para lograr condiciones de oscuridad.

Figura 3
Ambientes de evaluación



En todos los ambientes se colocaron sensores (Hobo, onset 1-800-Loggers, MX2300) para monitorear las condiciones de humedad relativa y temperatura.

El experimento caracterizó y comparó el comportamiento de los tres materiales genéticos en tres ambientes de almacenamiento, teniendo 9 tratamientos (Tabla N°6).

Tabla 6
Tratamientos

Genotipo	Ambiente
INIA Kiyú	20 °C
INIA Kiyú	30 °C
INIA Kiyú	Galpón
INIA Arequita	20 °C
INIA Arequita	30 °C
INIA Arequita	Galpón
Red Magic	20 °C
Red Magic	30 °C
Red Magic	Galpón

El diseño experimental utilizado para este experimento fue de Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Para esto, en cada ambiente se definieron 3 bloques donde se colocaron los 3 materiales genéticos. Para cada variedad se colocó 1 bolsa con 30 tubérculos, cada bloque contenía los 3 materiales genéticos, teniendo 3 bloques por ambiente. Cada unidad experimental estuvo conformada por tubérculos de 40 a 80 g (categoría semilla) del clon y las variedades, sin defectos visibles, acondicionadas en bolsas tipo red.

3.5. Evaluaciones

3.5.1. Pérdida de peso

Cada parcela de 30 tubérculos fue pesada a la instalación del ensayo y se registró la evolución del peso de la parcela en 7 momentos desde la instalación, aproximadamente cada 7 días. Se utilizó una balanza digital (Ohaus, Scout Pro-4001, Alemania), con capacidad de 4000 g y sensibilidad de 0,1 g. En caso de que se encontraran tubérculos con presencia de enfermedad se descartaban registrándose el motivo del descarte. La pérdida de peso acumulada (%) se calculó como:

$$PP_{\text{acum}} = \sum ((\text{Peso}_{i-1} - \text{Peso}_i) / \text{Peso}_{t=1}) * 100$$

Donde PP_{acum} = pérdida de peso acumulada

Peso_i = peso de parcela en cada fecha de evaluación

Peso_{i-1} = peso de la parcela en la evaluación anterior

Figura 4

Tubérculos en los ambientes a 20 °C (A) y 30 °C (B)

**3.5.2. Porcentaje de brotación**

Se observó cada tubérculo para registrar presencia o ausencia de brote. Se consideró como tubérculo brotado cuando uno o más brotes alcanzaron al menos 3 mm de largo (Visse-Mansiaux et al., 2022). En caso de haber comenzado a brotar se registraba si el tubérculo se encontraba en brotación apical (solo el brote apical visible) o en brotación múltiple (cuando se podían observar al menos 2 brotes visibles).

Porcentaje de brotación total = $(N^{\circ} \text{ brotadas} / N^{\circ} \text{ total de papas}) * 100$

Porcentaje de brotación apical = $(N^{\circ} \text{ papas con 1 solo brote} / N^{\circ} \text{ total de papas}) * 100$

Porcentaje de brotación múltiple = $(N^{\circ} \text{ papas con 2 o más brotes} / N^{\circ} \text{ total de papas}) * 100$

3.5.3. Tiempo térmico

El tiempo térmico es un método utilizado para conocer el requerimiento térmico de los cultivos en relación a su desarrollo fenológico. Este método trata de considerar cuando la temperatura media sobrepasa a un determinado umbral de temperatura, establecida como temperatura base (Flores-Magdaleno et al., 2014). Para este cultivo y en las condiciones en las que se realizó el ensayo se utilizó como temperatura base 4 °C.

Se realizó el cálculo de tiempo térmico (grados días, C°d) utilizando los datos del sensor HOBO (MX2301A) obtenidos cada media hora (en la cámara y el galpón) y cada 1 hora (en el solarío). Se realizó el promedio diario en cada ambiente y con la temperatura base se obtuvieron C°d (TT) que los tubérculos fueron acumulando hasta el levantamiento de la dormición.

Cuando el 80% de los tubérculos presentaban brotes de 3 mm de longitud o más, se consideraba que habían superado la dormición (Visse-Mansiaux et al., 2022). El cálculo del tiempo térmico se realizó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TT = \sum ((T \text{ máx} + T \text{ mín}) / 2) - T \text{ base}$$

$$T \text{ base} = 4 \text{ °C}$$

3.5.4. Tasa de crecimiento de brotes

Luego de que los tres materiales genéticos levantaron su dormición se midió la longitud del brote más largo (Figura N°5), en cada ambiente a intervalo de 7 días. La medición se realizó sobre una submuestra de 10 tubérculos utilizando un calibre digital de 150 mm de acero inoxidable, marca Ubermann.

Se estimó la tasa de crecimiento de los brotes con la ecuación que se describe a continuación expresando los resultados como milímetros por día (mm d⁻¹).

$$TCb = (LB_i \text{ (mm)} - LB_{i-1} \text{ (mm)}) / (ddi - ddi-1)$$

Siendo TCb = Tasa de crecimiento de brotes (mm d⁻¹)

LB = largo de brotes (mm)

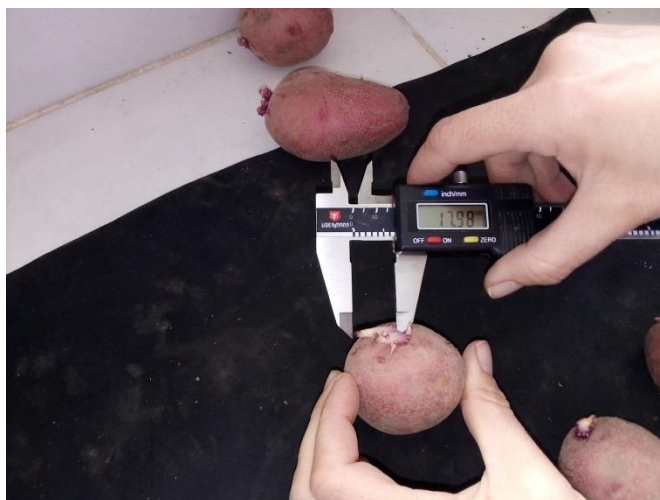
LB_i= largo de brotes en cada fecha de evaluación

LB_{i-1} = largo de brotes en la evaluación anterior

Ddi: días desde la instalación del ensayo

Figura 5

Medición de brote



3.5.5. Ruptura de la dormición

Se utilizaron las variables números de días y porcentaje de brotación para calcular la fecha en que los tubérculos llegaron al 50% y 80% de brotación total realizándose una interpolación lineal.

Se calculó la variación de brotación y de tiempo (Δ brotación y Δ tiempo). Para INIA Kiyú e INIA Arequipa se tomó el día 36 DDi cuando ya habían superado el 80% de brotación total, con Red Magic los cálculos se realizaron con los datos a los 48 DDi. La tasa de brotación (TB) se obtuvo como resultado de dividir Δ brotación/ Δ tiempo.

La variación de brotación (Δ brotación) fue la diferencia de brotación total entre del día 36 (12/8) y el día 0 (7/7) y la variación de tiempo (Δ tiempo) fue la diferencia de días entre el 12/8 y el 7/7. Los días para alcanzar el 50% de brotación se calcularon restando el 50% (brotación total) menos la brotación inicial en el día 0 (0%) y dividiéndolo entre la TB (0-50%). La tasa de brotación al 50% (TB 50%) es el resultado de Δ brotación/ Δ tiempo. Se utilizó el mismo razonamiento para el cálculo de los DDi al 80%.

3.6. Diseño experimental

Análisis estadístico:

De acuerdo al diseño utilizado el modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \varepsilon_{GA} \text{ siendo } i = \text{tratamientos}, j = \text{bloques}$$

El modelo expresa que lo que se observa en una parcela (Y_{ij}) es producto de una media general (μ), más el efecto relativo del tratamiento (i), más un error experimental (ε_{GA}), siendo G, genotipo y A, ambiente.

Los supuestos del modelo fueron: el modelo es correcto, es aditivo y no hay interacción entre los bloques y los tratamientos. Los errores experimentales son variables aleatorias con distribución normal centrados en 0 e independientes.

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA) con 95% de confianza, la comparación y clasificación de las medias de cada variable se realizó mediante la prueba Test de Tukey utilizando una probabilidad de error de 0,05.

El análisis estadístico fue realizado mediante el software Infostat y R-Studio (Versión 4.2.2, año 2022).

4. RESULTADOS

Los ambientes considerados en el experimento generaron una acumulación contrastante de grados días (C°d). El tiempo térmico varió entre 727,4 C°d en el galpón y 1827,5 C°d en el solarío a 30 °C. En la cámara a 20 °C las condiciones de temperatura fueron constantes, mientras que en el solarío la fluctuación fue de ± 6 °C. La mayor oscilación de temperatura se ocurrió en el galpón ± 10 °C (ver anexo).

La humedad relativa (HR) presentó fuertes oscilaciones en los tres ambientes. En 20 °C se logró en promedio 63% de HR mientras que en el galpón y a 30 °C 68% de HR. En todos los casos las variaciones entre los períodos fueron importantes. En el solarío debido a las condiciones del ambiente se observó deshidratación de los brotes.

4.1. Pérdida de peso

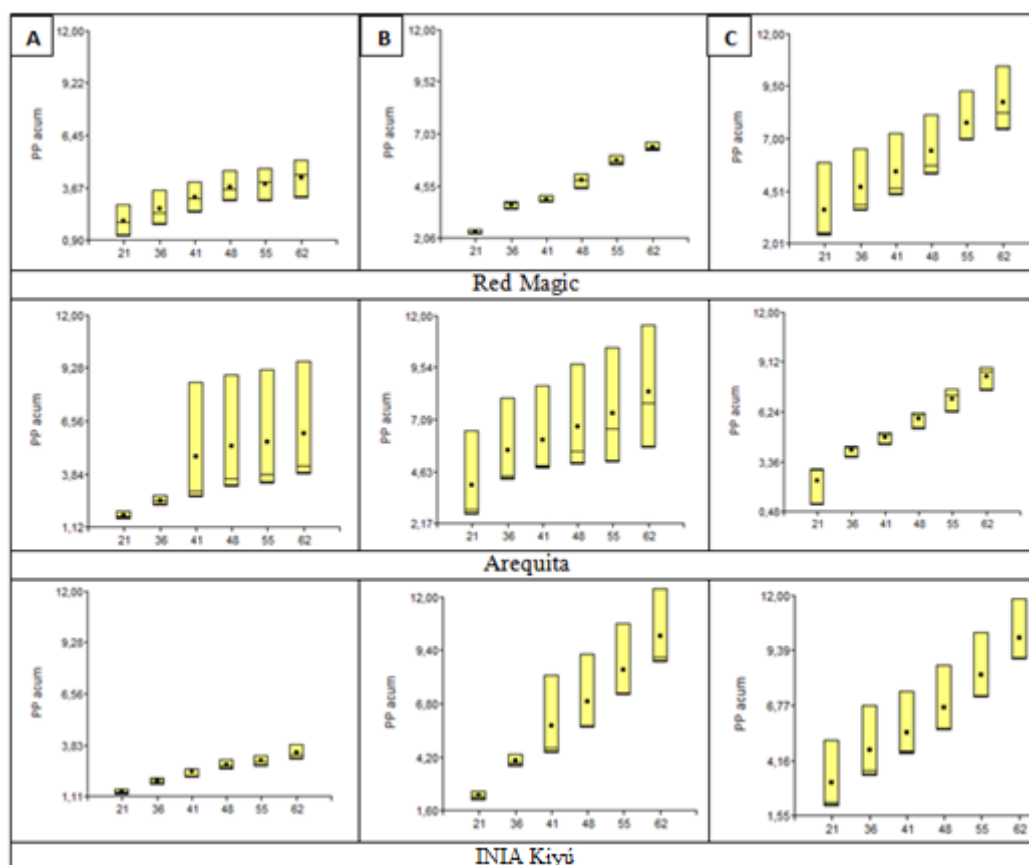
La pérdida de peso acumulado (PPA) fue aumentando a medida que avanzaron los días desde la instalación del ensayo. A través de un análisis de varianza se pudo comprobar que los factores que provocaron diferencias en la pérdida de peso fueron el ambiente y la interacción genotipo por ambiente (GxE) (Tabla N° 7). INIA Kiyú en el galpón tuvo menor PPA (<3%) que a 20 y a 30 °C (>6%) pero no se diferenció de Red Magic a 20 °C. A su vez Red Magic en el galpón no tuvo diferencias con el tratamiento a 20 °C pero sí con el tratamiento Red Magic a 30 °C (6%). Para la variedad Arequita la pérdida de peso no tuvo diferencias significativas en ningún ambiente (Tabla N°7).

Se observó mayor pérdida de peso y también mayor variación en los ambientes de 20 °C y 30 °C en comparación con el galpón (Figura N° 6). En ningún caso la pérdida de peso superó el 6,4%.

Tabla 7*Pérdida de peso acumulado (PPA%)*

Genotipo	Ambiente	Promedio PPA %
INIA Kiyu	Galpón	2,48 a
Red Magic	Galpón	3,24 a b
Arequita	Galpón	4,26 a b c
Red Magic	20 °C	4,47 a b c
Arequita	30 °C	5,36 b c
Red Magic	30 °C	6,08 c
INIA Kiyu	20 °C	6,25 c
INIA Kiyu	30 °C	6,35 c
Arequita	20 °C	6,38 c

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Figura 6*Pérdida de peso según variedad*

Nota. Red Magic (superior) e INIA Arequita (medio), y en el INIA Kiyú (inferior) durante el almacenamiento en tres ambientes contrastantes_ A. Galpón sin control de temperatura, B. Cámara a 20 °C y C. Solario a 30 °C.

4.2. Caracterización de la dormición

Para caracterizar la dormición de los materiales genéticos evaluados se presentan los resultados en dos partes: el tiempo necesario para el levantamiento de la dormición tanto en días como en tiempo térmico, así como el detalle de la evolución de la brotación durante el almacenamiento en distintos ambientes.

4.2.1. Ruptura de la dormición

Se determinó el tiempo térmico y los días para alcanzar un 50% y 80% de brotación, este último fue el umbral establecido para determinar el levantamiento de la dormición (Tabla N°8).

Las papas almacenadas en el ambiente galpón no levantaron su dormición en el período de evaluación.

En el galpón comenzaron a brotar recién a los 55 días registrándose 3,3% y 6,7% de brotación para las variedades INIA Arequita e INIA Kiyú respectivamente. En la variedad Red Magic se registró brotación hacia el final del ensayo alcanzando 10,3% de brotación total (Figura N°7).

A través del análisis de varianza se constató que el genotipo fue el factor que provocó diferencias significativas en los DDi50%, GD50%, DDi80% y GD80% (Tabla N°8).

Tabla 8

Tiempo térmico acumulado a 50 y 80% de brotación

GENOTIPO	AMBIENTE	DDi50	GD50	DDi80	GD80
INIA Kiyú	20 °C	19 aA	331 aA	33 aA	537 aA
INIA Kiyú	30 °C	19 aA	388 aB	33 aA	690 aB
INIA AREQUITA	20 °C	27 bA	436 bA	34 bA	548 aA
INIA AREQUITA	30 °C	34 bA	709 bB	41bA	884 aB
RED MAGIC	20 °C	44 cA	711 cA	48 cA	965 bA
RED MAGIC	30 °C	43 cA	932 cB	47cA	1023 bB

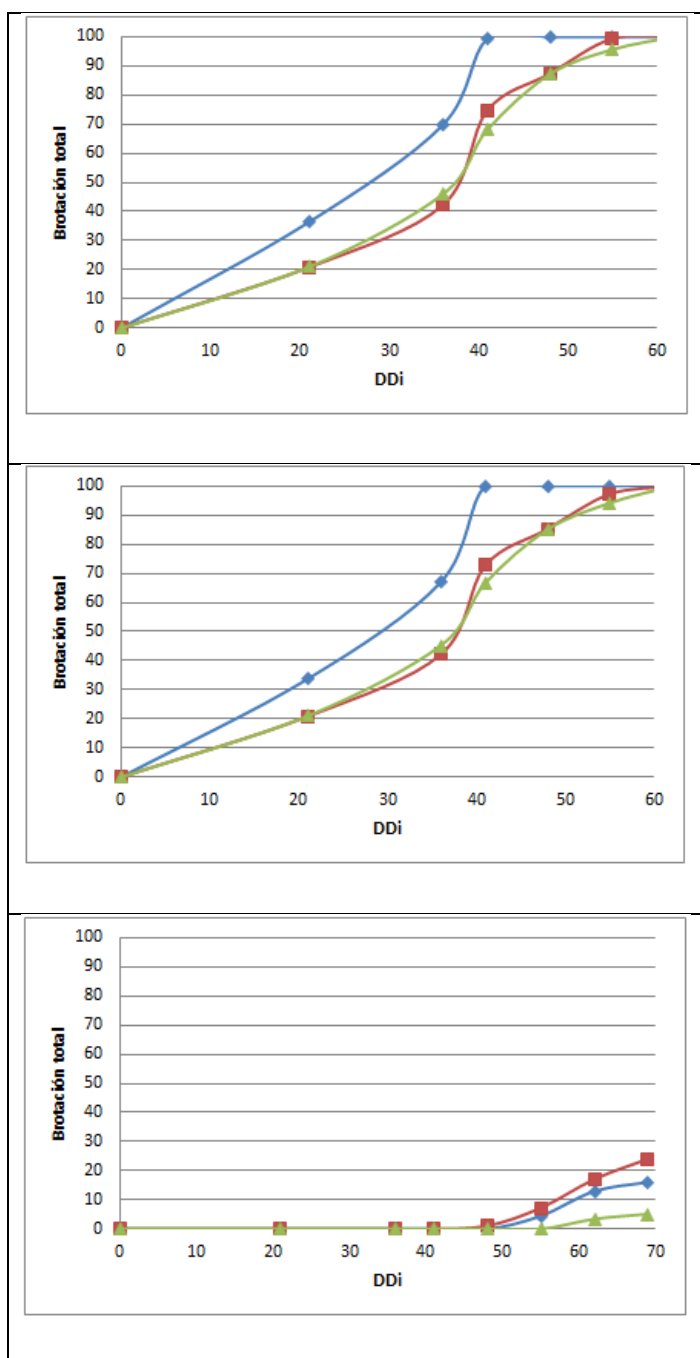
Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Letras mayúsculas representan diferencias entre ambientes. Letras minúsculas representan diferencia entre genotipos.

INIA Kiyú fue el material genético que presentó menor dormición, alcanzando el 50% y 80% de brotación en menos días (DDi 50 y DDi 80%), seguido de INIA Arequita y Red Magic. Esta respuesta estuvo explicada por la genética y no por el ambiente, ya que no hubo diferencias significativas en los días transcurridos para obtener el 50 y 80% de brotación (DDi50 y DDi80) a 20 o 30 °C (Tabla N°8).

Respecto a la acumulación térmica (C°d) INIA Kiyú necesitó menos °d para alcanzar 50 % de brotación, seguido de INIA Arequita y Red Magic, pero no se diferenció de INIA Arequita en la acumulación térmica alcanzada al 80% de brotación (Cuadro N°8).

Se encontraron diferencias entre los ambientes para las variables GD50 y GD80. La diferencia en la acumulación térmica (°d) necesaria para levantar la dormición fue significativa. A 20 °C los materiales genéticos necesitaron menor acumulación térmica para llegar al 50 y 80% de brotación (GD50 y GD80) en comparación con el solarío a 30 °C. Respecto al galpón no se obtuvieron los datos ya que las papas no lograron superar el período de dormición.

Figura 7
Brotación total de los materiales genéticos



Nota. Arriba: 20 °C. Medio: 30 °C. Abajo: Galpón. Azul: INIA Kiyú. Rojo: Arequita. Verde: Red Magic.

4.2.2. Evolución de la brotación durante el almacenamiento

Luego de estudiar el tiempo requerido para brotar, se analizaron las diferencias en la brotación total y tipo de brotación (apical o múltiple) en cada fecha de evaluación (Figura N°8).

El genotipo y la interacción genotipo por ambiente fueron los factores influyentes en la respuesta de las papas al levantamiento de la dormición a los 36 días desde la instalación (DDi).

Tabla 9

Brotación total (36 DDi) de las variedades a 20 y 30°C

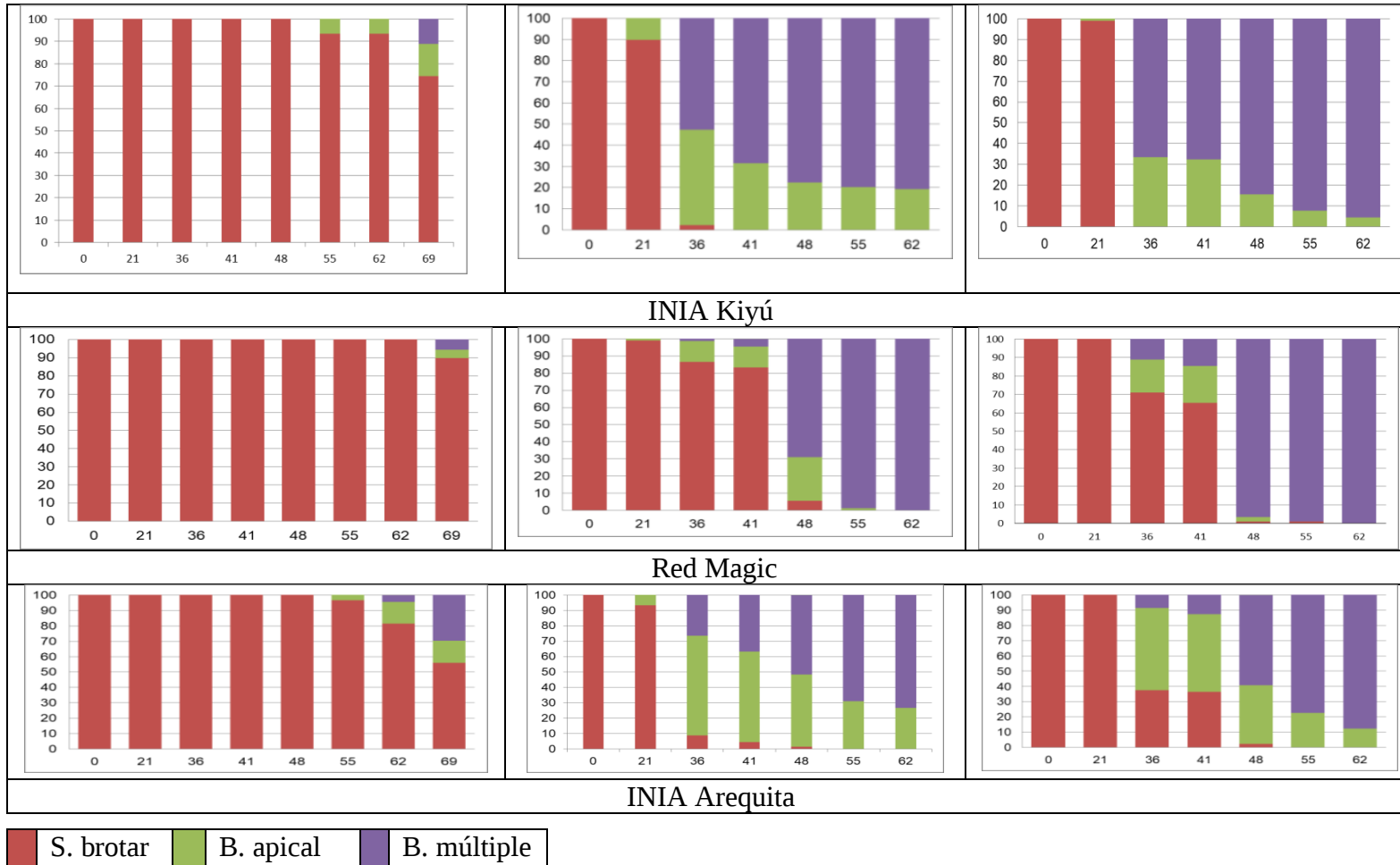
Amb/Gen	INIA Kiyú (%)	INIA Arequita (%)	Red Magic (%)
20 °C	99,21 ab	91,17 b	13,21 d
30 °C	100 a	63,5 c	29,04 d

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

La brotación total de los tubérculos no presentó diferencias significativas a los 36 (DDi) para los genotipos INIA Kiyú e INIA Arequita a 20 °C (> 90%), pero sí entre estos dos materiales y Red Magic en el mismo ambiente (Tabla N°9).

Para el ambiente de 30 °C se encontraron diferencias significativas entre los tres materiales genéticos, logrando discriminar mejor a los tres genotipos. En este ambiente solo INIA Kiyú levantó la dormición. INIA Kiyú presentó una dormición más corta en los dos ambientes, seguido de INIA Arequita y por último Red Magic.

Figura 8
Evolución de la brotación



Se observa como a medida que avanzan los días desde la instalación del ensayo (eje “x”) disminuyen los tubérculos sin brotar, aumentando el porcentaje de tubérculos que presentan brotación apical, y luego la brotación múltiple, dos o más brotes (eje “y”).

Respecto al tipo de brotación hubo diferencias entre INIA Kiyú e INIA Arequita. En el ambiente a 20 °C a los 36 DDi INIA Kiyú e INIA Arequita presentaron un porcentaje de brotación apical de 45% y 65% (respecto a las papas brotadas), esto podría indicar que INIA Arequita tiene mayor dominancia apical. Esta diferencia también se observa en el ambiente de 30 °C con un 54% de brotación apical para INIA Arequita y 33,3% para INIA Kiyú. La variedad Red Magic no logró levantar la dormición a los 36 DDi, por lo tanto no se utilizó en el análisis.

El tipo de brotación tuvo una fuerte influencia del genotipo durante todo el período de evaluación, esto se observó a los 36, 41, 48 DDi, pero también la interacción GxE fue un factor determinante para esta característica a los 36 DDi. El factor ambiente solo tuvo relevancia a los 48 DDi (Tabla N°10).

Tabla 10

Anava tipo de brotación a 36, 41, y 48 DDi

F.V	p-valor		
	36 ddi	41 ddi	48 ddi
BLOQUE	0,4672	0,3098	0,909
GENOTIPO	0,0021*	0,0030**	0,0034**
AMBIENTE	0,17	0,77	0,0079**
GENxAMB	0,041*	0,099	0,09

Nota. Valor de $\alpha = 0.05$

La variedad Red Magic solo se comparó a los 48 DDi con los demás debido a que recién en este momento alcanzo el 80% o más de brotación.

Hubo diferencias entre los genotipos siendo INIA Kiyú quien tuvo menor porcentaje de brotación apical tanto a 20 como a 30 °C en comparación a INIA Arequita. Esto marca la mayor dominancia apical de INIA Arequita respecto a INIA Kiyú.

A su vez se sugiere que hay interacción genotipo ambiente, ya que hubo diferencias significativas para ambos genotipos en ambos ambientes, por ejemplo INIA Arequita presentó mayor porcentaje de brotación apical en el solarío -30 °C- en comparación a la cámara -20 °C- (87% vs 71%) por otro lado INIA Kiyú tuvo mayor porcentaje de brotes apicales en la cámara (46%) y menor en el solarío (33%) (Tabla N°11).

Tabla 11

Brotación apical a los 36 DDi

Genotipos	Ambiente	%Brotación apical
INIA Arequita	30 °C	87% a
INIA Arequita	20 °C	71% b
INIA Kiyú	20 °C	46% c
INIA Kiyú	30 °C	33% d

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

INIA Kiyú e INIA Arequita presentaron diferencias entre sí en la brotación apical siendo INIA Arequita la variedad con más dominancia apical a lo largo del ensayo. A los 48 DDi INIA Kiyú y Red Magic no se diferenciaron en la brotación apical pero si se diferencia INIA Arequita respecto a los dos genotipos anteriores manteniendo el 44% de los tubérculos en dominancia apical (Tabla N°12).

Tabla 12

Brotación apical-múltiple a los 41 y 48 DDi

	41 DDI	48 DDI
Genotipos	% Brotación apical	% Brotación apical
INIA Kiyú	31,8 b	18,6 b
INIA Arequita	71,4 a	44,4 a
Red Magic	--	9,8 b

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Se observaron diferencias entre los ambientes a los 48 DDi (Tabla N°13) encontrando mayor porcentaje de brotación apical a 20 °C mientras que a 30 °C se estimuló el desarrollo de más brotes.

Tabla 13*Brotación apical a los 48 DDi por ambiente*

Ambiente	% Brotación apical
20 °C	32,66 a
30 °C	14,21 b

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

4.3. Tasa de crecimiento

Para determinar la influencia del genotipo y el ambiente sobre el crecimiento de los brotes, se analizó la tasa de crecimiento del brote principal en dos períodos (TC₁: 17 a 31/8 y TC₂: 31/8 a 7/9) y la tasa de crecimiento promedio (TC_x) para el período evaluado. Tanto el genotipo como el ambiente fueron determinantes en las diferencias encontradas en las dos tasas de crecimiento calculadas.

En el siguiente cuadro se observan las diferentes tasas de crecimiento según cada material genético y su significancia.

Tabla 14*Tasas de crecimiento de brote principal*

GEN/VAR	TC1	TC2	TCx
Red Magic	0,36 a	1,72 a	0,84 a
INIA			
Arequita	0,67 a	2,42 b	1,28 b
INIA Kiyú	1,77 b	5,77c	3,17 c

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Se observó que INIA Kiyú tuvo mayor TC1, TC2, TCx comparado con Red Magic e INIA Arequita, corroborando que el genotipo influye en esta variable. Por otro lado las variedades Red Magic e INIA Arequita no se diferenciaron en la TC1 pero si en la TC2 y TCx siendo INIA Arequita la variedad que presentó mayor tasa de crecimiento (Tabla N°14).

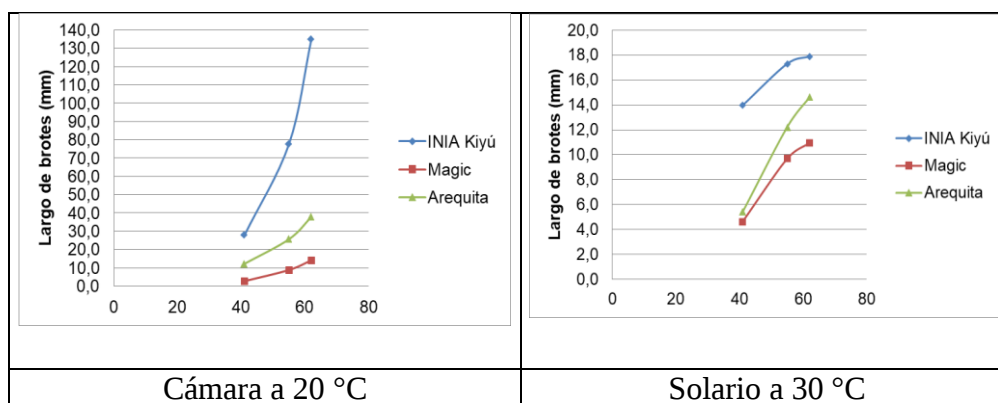
Respecto al ambiente también se pudo comprobar las diferencias entre la cámara a 20 °C y el solarío a 30 °C (Tabla N°15).

Tabla 15*Tasas de crecimiento según ambiente*

Ambiente	TC1	TC2	TCx
30 °C	0,32 a	3,43 a	1,41 a
20 °C	1,55 b	3,18 a	2,12 b

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

A 20 °C hubo mayor TC1 y TCx, siendo significativa la diferencia respecto al solarío a 30 °C. Consecuentemente el largo de los brotes obtenidos en el ambiente a 20 °C fue superior al largo de los brotes en el solarío (Figura N°9).

Figura 9*Crecimiento de brotes (mm) en función del tiempo (d) para los tres materiales*

5. DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar la dormición y su respuesta a las condiciones de almacenamiento en distintos ambientes para dos variedades de papa y un clon avanzado del programa de mejoramiento en papa de INIA Las Brujas. Los ambientes seleccionados para realizar este trabajo nos permitieron generar condiciones contrastantes de temperatura ayudando a mostrar diferencias en el comportamiento de los distintos materiales genéticos para las variables estudiadas.

Pérdida de peso

La pérdida de peso de los tubérculos-semilla en este ensayo se puede relacionar a la pérdida de agua por respiración y transpiración y a la translocación de asimilados hacia los brotes en crecimiento (Crisci, 1992). Por otro lado Mani et al. (2014) indican que después de la brotación, la pérdida de peso también se puede asociar a la tasa de crecimiento y número de brotes por tubérculo. Estos factores están influenciados por la temperatura, en este caso las temperaturas fueron 20° C y 30 °C.

De acuerdo a Wang et al. (2020) la transpiración y respiración en tubérculos de papa son las principales causas de la pérdida de peso. La transpiración que se genera por la difusión de vapor de agua desde la piel del tubérculo al aire circundante, contribuye a más del 90% de la pérdida total de peso. Por otro lado la respiración, responsable de convertir almidón y azúcares en CO₂ y agua, explica entre un 5 a 10% de la pérdida de peso (Castleberry, 2013). Ambos procesos están influenciados por la temperatura siendo mayor la transpiración y respiración en ambientes con alta temperatura, como ocurrió en este ensayo en la cámara a 20 °C y el solarío a 30 °C, incrementando la pérdida de peso de los tubérculos-semilla (Figura N°6).

En este ensayo, la pérdida de peso se incrementó con el tiempo y el aumento de la temperatura de almacenamiento, siendo mayor esta pérdida en los ambientes controlados (cámara a 20 °C y solarío a 30 °C) ya que la temperatura estuvo en el rango de 20 °C a 30 °C que es cuando la pérdida de peso se hace mayor (Carballo, 2003).

Estudios previos de Gikundi et al. (2023) reportaron que la pérdida de peso de los tubérculos se reduce con la reducción de la temperatura de almacenamiento, esto coincidió con los resultados de este ensayo, en donde en el galpón, con temperaturas más bajas (5,5 a 24,7 °C) se minimizó esta pérdida de peso, no superando en ninguna variedad el 6,4 % acumulado. A su vez Ghazavi y Houshmand (2010) encontraron una correlación positiva entre la temperatura de almacenamiento y la pérdida de peso, siendo menor esta pérdida a temperaturas cercanas a los 5 °C.

En las condiciones del ensayo, la PPA estuvo influenciada por el ambiente (fue mayor en ambientes con control de temperatura) y se observó además interacción GxA (Tabla N°7). El aumento de la temperatura además de favorecer la pérdida de agua por deshidratación, favorece el crecimiento de brotes y la translocación de asimilados hacia estos (Crisci, 1992).

Los brotes en crecimiento presentan alta permeabilidad en la pared al vapor de agua (Pande et al., 2007) por lo tanto a mayor crecimiento de los brotes, mayor va a ser la pérdida de agua y en consecuencia más pérdida de peso, generando una disminución de la calidad de los tubérculos-semilla.

La pérdida de peso determina por lo tanto, la longevidad y la capacidad de almacenamiento de los tubérculos y su calidad de conservación (Mani et al., 2014). No es deseable la elongación en exceso de los brotes para la utilización de estos tubérculos en la siembra.

Tasa de crecimiento

Las diferencias encontradas en la tasa de crecimiento de los brotes estuvieron explicadas por el ambiente y los genotipos. En el ambiente a 20 °C fue mayor la tasa de crecimiento en mm, que a 30 °C y por ende los materiales genéticos en este ambiente (20 °C) presentaron mayor longitud de brote. Al mismo tiempo el genotipo INIA Kiyú fue quien tuvo mayor tasa de crecimiento en ambos ambientes, seguido de INIA Arequita y Red Magic.

El crecimiento de los brotes aumenta con temperaturas altas, siendo óptimo este crecimiento con temperaturas entre 15 °C y 20 °C y se hace menor cuando supera los 20 °C (Singh et al., 2020). Lo observado coincide con lo

reportado y es probable que la longitud de los brotes en los tubérculos-semillas almacenados en el solarío, se afectara no solo por la temperatura superior a 20 °C, sino también por la competencia entre los brotes, estimulada por la temperatura del solarío que generó más número de brotes/tubérculos.

INIA Kiyú fue el genotipo que presentó un envejecimiento fisiológico más rápido y por lo tanto dormición más corta. La tasa de crecimiento de los brotes fue mayor en este material y alcanzó mayor largo final de brote (seguido de INIA Arequita y Red Magic, figura N°9). Esto puede explicar el hecho de que este material presentara mayor pérdida de peso en comparación a los demás genotipos (Ezekiel et al., 2007; Pande et al., 2007).

Otro factor que podría estar involucrado es la deshidratación observada en estos brotes ya que la humedad relativa promedio en este ambiente fue menor a la requerida (mayor a 80%) (Inostroza, 2019).

Dormición y brotación

La diferencia entre los materiales evaluados en el momento en que comenzaron a levantar la dormición estuvo explicada por la genética. De acuerdo a los resultados obtenidos, INIA Kiyú es el material genético con dormición más corta seguido de INIA Arequita y Red Magic, independientemente de la temperatura de conservación.

Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados por Visse-Mansiaux et al. (2022) y Kwambai et al. (2023) en donde señalan que la genética de los tubérculos es el factor que ejerce mayor efecto en determinar la duración de la dormición, independientemente del ambiente. Visse-Mansiaux et al. (2022) destacan que el 60,3% de la variabilidad observada en el largo de este período estuvo explicada por el genotipo.

Los ambientes de conservación a alta temperatura (20 °C y 30 °C) favorecieron el envejecimiento fisiológico de los tubérculos. Esto se evidencia a través del contraste entre estos ambientes y el galpón: los tubérculos almacenados a altas temperaturas pasaron de estar en dormición, a tener brotación apical y luego múltiple, en cambio en el galpón no se observó levantamiento de la dormición (brotación $\geq 80\%$) en el período del ensayo (Figura N°8).

Al igual que lo reportado por Muthoni et al. (2014) y Bisognin et al. (2008) las altas temperaturas aceleraron los procesos que promueven el envejecimiento fisiológico acortando la dormición y adelantando la brotación, esto marca la importancia de este factor ambiental para adelantar o retrasar el inicio de la brotación. Caldiz (1989) reportó una reducción de 18% en la duración de la dormición si la temperatura aumenta de 10 °C a 20 °C y alargar un 67% si la temperatura desciende de 10 a 5 °C.

La duración de la dormición se incrementa por las bajas temperaturas (Sonnewald & Sonnewald, 2014). Esto coincidió con lo observado en el galpón donde los tubérculos permanecieron en estado de dormición durante todo el período de evaluación. De igual forma Abbasi et al. (2016) mencionan que las bajas temperaturas promueven el alargamiento de la dormición, provocando la reducción de la tasa respiratoria y las actividades enzimáticas, generando la inhibición de la brotación de las semillas de papa, prolongando así la duración de la dormición natural mediante la dormición inducida.

Los ambientes de 20 °C y 30 °C aceleraron la brotación, permitiendo que los tubérculos comiencen a brotar antes y alcancen el 80% de brotación en menos cantidad de días en relación a cada variedad en el galpón (Figura N°8). Estos resultados tienen coincidencia con lo presentado por Bisognin et al. (2008) quienes observaron que la brotación aumenta con el aumento de la temperatura de almacenamiento.

No hubo diferencias claras en el tiempo requerido para levantar la dormición entre 20 °C y 30 °C (Tabla N°8). Esto podría estar explicado por las variaciones de humedad relativa en el ambiente a 30 °C ya que esta variable no se pudo mantener constante a lo largo del ensayo.

Además de afectar la duración de la dormición, la temperatura también puede modificar la brotación. Según Caldiz (1989) y Bisognin et al. (2008) la brotación en tubérculos (por ende la edad fisiológica) puede ser modificada por efecto de la temperatura, de manera que, al aumentar la temperatura de almacenamiento, aumenta el número de brotes por tubérculo, pudiendo obtener la mayor cantidad de brotes con temperaturas cercanas a los 25 °C.

Esto coincide con lo observado en el ensayo: si bien el ambiente a 30 °C no aceleró en las condiciones del ensayo el levantamiento de la dormición (se alcanza el 80% de brotación relativamente al mismo tiempo) la mayor temperatura favoreció la brotación de yemas axilares, aumentando el número de brotes por tubérculo (brotación múltiple). Ésta diferencia en el número de brotes indica un proceso de envejecimiento de la semilla a mayor temperatura (Mani & Hannachi, 2015).

De acuerdo a lo reportado en bibliografía, el almacenamiento a bajas temperaturas (<10 °C) reduce la dominancia apical en tubérculos, mientras que temperaturas mayores a 25 °C, aceleran la brotación pero no favorecen la pérdida de dominancia apical (Bisognin et al., 2008; Müller et al., 2010).

El avance de la edad fisiológica varía dependiendo de si las temperaturas de almacenamiento son constantes o fluctúan. El diseño del ensayo no permite concluir en este sentido, sino caracterizar el comportamiento de los tres materiales genéticos en cada uno de estos ambientes. Los resultados obtenidos podrían utilizarse para ajustar las temperaturas a ensayar, la duración del tratamiento de temperatura y la frecuencia de observación al colocar los genotipos en condiciones homogéneas.

Se destaca que Red Magic si bien presentó una dormición más larga tanto a 20 °C como 30 °C en relación a INIA Arequita y a INIA Kiyú el envejecimiento de los tubérculos-semilla fue más rápido ya que presentó un alto porcentaje de los tubérculos en estado de brotación múltiple (a los 48 DDi). Esto podría indicar menor dominancia apical en esta variedad.

INIA Kiyú fue el genotipo que alcanzó el 80% de brotación (levantando la dormición) en menos días en comparación con Arequita y Red Magic y con menor acumulación térmica en promedio (613,5 °d) esto indica una mayor precocidad en comparación con los otros dos materiales evaluados. En los ambientes controlados, los requerimientos térmicos para brotar fueron diferentes, siendo el solarío a 30 °C donde los genotipos necesitaron acumular más GD para levantar la dormición.

La menor temperatura y la gran variabilidad en la humedad relativa en el galpón a lo largo del ensayo (tabla anexo), no permitió el levantamiento de la dormición.

Implicancias para la producción

La forma habitual de conservar los tubérculos-semilla de los productores familiares, es en galpón sin control de temperatura. El almacenamiento de la cosecha de otoño transcurre desde fin de mayo, principio de junio hasta la siembra de primavera: desde fines de agosto y todo el mes de setiembre.

En la secuencia tradicional (otoño-primavera), las temperaturas frescas registradas durante el almacenamiento a galpón (ver anexo), durante el invierno, no son favorables para lograr tubérculos-semilla con un adecuado estado de brotación para la plantación del cultivo de primavera (2 a 4 brotes/tubérculo). Este número de brotes se logra al inicio de brotación múltiple y permite mayor número de tallos y plantas vigorosas (Méndez & Inostroza, 2009).

De acuerdo a este ensayo el almacenamiento en el galpón de las tres variedades analizadas, condicionó que aproximadamente a los dos meses, solo un pequeño porcentaje de los tubérculos comenzara a brotar. Esto supone semillas fisiológicamente muy jóvenes para la plantación de primavera. A esta condición de la semilla para la siembra de primavera, se suma el hecho de que los suelos están más fríos (por efecto de las bajas temperaturas en invierno) lo que retrasa la emergencia del cultivo, impactando en el largo del ciclo, menor potencial de rendimiento y calidad comercial.

La edad fisiológica de la semilla es uno de los factores vinculados al rendimiento potencial. Tubérculos fisiológicamente muy jóvenes, demoran en brotar y dan origen a plantas con pocos tallos, lo que limita el número de tubérculos y por lo tanto el rendimiento del cultivo. Diferentes factores, previos a la cosecha del cultivo anterior, como fecha de plantación, manejo del cultivo y de la cosecha, condicionan esta edad fisiológica.

El manejo del almacenamiento debe promover tubérculos-semilla en la edad fisiológica óptima para la plantación y alcanzar una rápida emergencia del cultivo. El almacenamiento de los tubérculos semilla, a 20 °C, previo a la

plantación, puede acortar el período de dormición. Esto permitiría un mejor aprovechamiento del relativamente corto período favorable de crecimiento (setiembre a diciembre). También posibilita obtener varios tallos por planta y por lo tanto mayor número potencial en número de tubérculos.

Por otro lado también hay diferencias en el período de brotación entre los diferentes genotipos: INIA Kiyú y la variedad Red Magic, presentaron mayor brotación múltiple (en 20 °C y 30 °C), mientras que INIA Arequita presentó más dominancia apical. Esto tiene incidencia a nivel productivo ya que aquellos genotipos con mayor tendencia a la dominancia apical, presentan una baja densidad de tallos por planta y esto produce menos tubérculos, aunque de mayor tamaño, pero provoca que el rendimiento potencial del cultivar se vea comprometido (Kwambai et al., 2023).

Por otra parte el tipo de brotación tiene implicancias prácticas en la siembra del cultivo ya que la productividad del cultivo tiene relación directa con el número de tubérculos y ésta a su vez, con el número de tallos. Otras variables como la densidad de siembra también está afectada por el estado de brotación de la semilla (Méndez, 2009). Estos factores se pueden ajustar, de acuerdo al destino del cultivo: mercado de consumo o producción de semilla.

La dormición de las diferentes variedades, las características de su brotación y la respuesta al ambiente de almacenamiento tienen impacto directo en variables que afectan el rendimiento del cultivo: duración de la emergencia, número de brotes por tubérculo, número de tallos por planta. INIA Kiyú presenta el menor período de dormición, en segundo término INIA Arequita y por último Red Magic presenta un período de dormición bastante más largo, dificultando su adaptación al ciclo tradicional, en la secuencia otoño-primavera.

Estudiar la dormición de los nuevos materiales genéticos, su respuesta a las condiciones de almacenamiento y las características de la brotación permite diseñar estrategias de manejo de semilla para adaptar la edad fisiológica de cada variedad a los propósitos productivos específicos.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo comparó distintas situaciones de almacenamiento para tres materiales genéticos, remarcando la importancia de generar información específica por variedad, para mejorar el manejo tradicional de los tubérculos semilla y consecuentemente, los resultados productivos del cultivo.

El experimento realizado permitió caracterizar la dormición de los tres materiales genéticos y su respuesta en condiciones ambientales contrastantes, pudiendo establecer un orden en cuanto a la duración de la dormición de los materiales evaluados: INIA Kiyú fue el más precoz, seguido de INIA Arequita y Red Magic. INIA Kiyú presentó 33 días de dormición a 20 y 30 °C, seguido por INIA Arequita con 34 y 41 días a 20 y 30 °C y por último Red Magic con 48 y 47 días a 20 y 30°C.

INIA Kiyú mostró además una mayor tasa de crecimiento de brotes tanto a 20 °C como 30 °C

Los ambientes a 20 °C y 30 °C aceleraron los procesos que favorecen el envejecimiento fisiológico de los tubérculos acortando el período de dormición. El ambiente galpón, en las condiciones del ensayo no sería adecuado para obtener tubérculos brotados para la siembra de primavera. El ambiente a 20 °C, sería el favorable para caracterizar el grado y tipo de dormición de los distintos materiales genéticos, en las condiciones que se desarrolló el ensayo.

Las variedades Red Magic e INIA Kiyú presentaron mayor tendencia a la brotación múltiple a diferencia de INIA Arequita quien tuvo más dominancia apical, esto trae consecuencias a la hora del manejo, por ejemplo en el caso de Arequita podríamos pensar en el desbrote antes de la instalación.

Es importante marcar la relevancia de la humedad relativa del ambiente y no solo enfocarse en la temperatura como factor único en el control de la brotación para lograr tubérculos de buena calidad. Esto cobra mayor importancia en aquellos ambientes de almacenamiento donde la temperatura es alta ya que se puede afectar el crecimiento de los brotes perjudicando la calidad de los tubérculos-semilla por efecto de la deshidratación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, K., Masud, T., Qayyum, A., Khan, S., Abbas, S., & Jenks, M. (2016). Storage Stability of Potato Variety Lady Rosetta under comparative temperatura regimes. *Sains Malaysiana*, 45(5), 677-688.
https://www.researchgate.net/publication/304247171_Storage_Stability_of_Potato_Variety_Lady_Rosetta_under_Comparative_Temperature_Regimes
- Ackermann, M., & Díaz, A. (2022). *Horticultura: Situación y perspectivas*. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 317-342). MGAP.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/book/16089/download>
- Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2021). *Enfermedades de la papa: Plataforma de evaluación de riesgo sanitario*. INIA.
<http://enfermedadespapa.inia.cl>
- Acuña, I., & Tejeda, P. (2014). *Enfermedades causadas por virus en el cultivo de papa y su manejo*. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4783>
- Aldabe Dini, L., Aldabe, R., Borde, J., & Carballo, R. (2001). *Producción de semilla de papa en el Uruguay*. PREDEG.
- Arribillaga, G. D. (Ed.). (2013). Antecedentes técnicos para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L), en la región de Aysén. *Boletín INIA*, (272).
<https://hdl.handle.net/20.500.14001/7669>
- Barona, D., Mateus-Rodríguez, J., & Montesdeoca, F. (2015). La planta de papa: Ecofisiología y nutrición mineral. En J. L. Andrade-Piedra, P. Kromann, & V. Otazú (Eds.), *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: Diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú* (pp. 109-130). CIP; INIA; CORPOICA.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1378/Ver_Documento_1378.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Berger, A., Gaso, D., Calistro, R., & Morales, X. (2018). Limitantes ambientales y potencial de rendimiento de trigo en Uruguay. En S. Germán, M. Quincke, D. Vázquez, M. Castro, S. Pereyra, P. Silva, & A. García (Eds.), *Seminario Internacional 1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela* (pp. 112-123). INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12219/1/st-241-2018.p.112-123-Berger-et-al.pdf>
- Bisognin, D., Freitas, S., Brackmann, A., Andriolo, J., Pujol, E., Müller, D., & Bandinelli, M. (2008). Envelhecimento fisiológico de tubérculos de batata produzidos durante o outono e a primavera e armazenados em diferentes temperaturas. *Bragantia*, 67(1), 59-65.
<https://www.scielo.br/j/brag/a/NdQtb9syGP4Hy6tLRznsSJ/?format=pdf&lang=pt>
- Caldiz, D. O. (1989). *Fisiología de los tubérculos de papa semilla durante el cultivo y el almacenamiento*. FRIGOPAP.
<https://es.scribd.com/document/27320902/Fisiologia-de-los-tuberculos-de-papa-semilla-durante-el-cultivo-y-el-almacenamiento>
- Caldiz, D. O., Brocchi, G., Alaniz, J., & Marchan, C. (1996). Effects of the physiological age of seed potatoes on tuber initiation and starch and dry matter accumulation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31(12), 853-858.
https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19356/1/pab96_12_03.pdf
- Caldiz, D. O., Fernández, L., & Struik, P. (2001). Physiological age index: A new, simple and reliable index to assess the physiological age of seed potato tubers based on haulm killing date and length of the incubation period. *Field Crops Research*, 69(1), 69-79.
<https://www.researchgate.net/publication/223566938>

- Carballo, S. (2003). Fisiología de la respiración y transpiración de frutas y hortalizas. En S. Carballo & A. Feippe (Coords.), *Actualización técnica en fisiología y manejo postcosecha de frutas y hortalizas* (pp. 44-60). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9987/1/Carballo-S.-2003.pdf>
- Castleberry, H. C. (2013). *Development of Methods to Estimate or Reduce Pressure Flattening of Potatoes During Storage* [Disertación doctoral, Colorado State University]. Mountain scholar. <https://api.mountainscholar.org/server/api/core/bitstreams/82b68dd1-e7be-44da-b7b2-735baf05731/content>
- Ciampitti, I. A., & García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales: Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Archivo Agronómico*, (12), 1-4. https://www.researchgate.net/publication/251813923_Requerimientos_nutricionales_Absorcion_y_extraccion_de_macronutrientes_y_nutrientes_secundario
- Colnago, P. L., Vilaró, F., & González, P. (2019). Production multiplication of national potato varieties in family farming systems. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 23(2), 74-79. https://www.researchgate.net/publication/341644951_Production_y_multiplification_de_variedades_nacionales_de_papa_en_sistemas_agricolas_familiares
- Crisci, C. (1992). *Almacenamiento de papas*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2926/1/111219220807120127.pdf>
- Ezekiel, R., Singh, B., Kumar, D., & Mehta, A. (2007). Processing quality of potato varieties grown at two locations and stored at 4, 10 and 12 °C. *Potato journal*, 34(3-4), 164-173. https://www.researchgate.net/publication/321332153_Processing_quality_of_potato_varieties_grown_at_two_locations_and_stored_at_4_10_and_12C

- Flores-Magdaleno, H., Flores-Gallardo, H., & Ojeda-Bustamante, W. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista fitotecnica mexicana*, 37(2), 149-157.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006&lng=es&tlng=es
- Ghazavi, M., & Houshmand, S. (2010). Effects of mechanical damage and temperature on potato respiration rate and weight loss. *World Applied Sciences Journal*, 8(5), 647-652. [https://idosi.org/wasj/wasj8\(5\)10/17.pdf](https://idosi.org/wasj/wasj8(5)10/17.pdf)
- Gikundi, E. N., Buzera, A. K., Orina, I. N., & Sila, D. N. (2023). Storability of irish potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties grown in Kenya under different storage conditions. *Potato Research*, 66, 137-158.
<https://doi.org/10.1007/s11540-022-09575-8>
- González, M., & Giménez, G. (2017). *Catálogo de cultivares hortícolas* (2ª ed.). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7053/1/bd-113-Catalogo-Horticola-2a.ed.2017.pdf>
- González Arcos, M., Rodríguez, G., Vilaró, F., Grela, A., Arias, M., Ibáñez, F., & Arrabuarrena, A. (2024). *El cultivar de papa "INIA Kiyú" (IR038)*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17474/1/INIA-HD-114-Enero2024.pdf>
- Huarte, M., & Capezio, S. (2013, agosto). *Cultivo de papa*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/256195293_Cultivo_de_papa
- Inostroza, J. (2019). Almacenaje de tubérculos semilla de papa. En P. Méndez (Ed.), *Producción de papa para el Convenio Tranapuente* (pp. 185-198). INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6856/NR42008.pdf?sequence=19&isAllowed=y#:~:text=Para%20los%20tub%C3%A9rculos%20semillas%20de,para%20el%20per%C3%AAdodo%20de%20almacenaje>
- Isterra Hungary. (2024). *Red Magic: Seedpotato – GERMICOPA*. <https://isterra-seeds.com/en/red-magic-burgonya-vetogumo>

- Kwambai, T. K., Griffin, D., Nyongesa, M., Byrne, S., Gorman, M., & Struik, P. (2023). Dormancy and physiological age of seed tubers from a diverse set of potato cultivars grown at different altitudes and in different seasons in Kenya. *Potato Research*, 66, 1091-1115. <https://doi.org/10.1007/s11540-023-09617-9>
- López-Nicora, H., Soilán-Duarte, L. C., Caballero-Mairesse, G. G., Grabowski-Ocampos, C. J., & Enciso-Maldonado, G. A. (2021). *Manual de nematología agrícola: Bases y procedimientos*. Atlas. <https://doi.org/10.53997/DFXA5914>
- Mani, F., Bettaieb, T., Doudech, N., & Hannachi, C. (2014). Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting. *African Crop Science Journal*, 22(2), 155-174. <https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/104945>
- Mani, F., & Hannachi, C. (2015). Physiology of potato sprouting. *Journal of New Science*, 17(2), 591-602. <https://www.jnsiences.org/agri-biotech/71-volume-27>
- Méndez, P. (2009). Plantación de papa y efecto de tallos en la producción. En J. Inostroza (Ed.), *Manual de papa para La Araucanía: Manejo y Plantación* (pp. 77-84). INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/NR36480.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Méndez, P., & Inostroza, J. (2009). Calidad de papa semilla, estados fisiológicos del tubérculos y técnica de prebrotado. En J. Inostroza (Ed.), *Manual de papa para La Araucanía: Manejo y plantación* (pp. 15-28). INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/NR36477.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Méndez, P., & Meier, S. (2019). Antecedentes sobre fertilización del cultivo de papa. En P. Méndez (Ed.), *Producción de papa para el Convenio Tranapunte* (pp. 39-58). INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6856/NR41999.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

- Molina, J., Santos, M., & Aguilar, L. (2004). *Manejo integrado de plagas: Guía MIP en el cultivo de la papa*. INTA.
<https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>
- Müller, R. D., Bisognin, A. D., Morin, R. G., & Gnolato, S. F. (2010). Dormência e dominância apical de diferentes tamanhos de tubérculos de batata. *Ciência Rural*, 40(12), 2454-2459.
<https://www.scielo.br/j/cr/a/bhz4BmzhbsFvPJN9cNtBKXd/?format=pdf&lang=pt>.
- Muthoni, J., Kabira, J., Shimelis, H., & Melis, R. (2014). Regulation of potato tuber dormancy. *Australian Journal of Crop Science*, 8(5), 754-759.
https://www.researchgate.net/publication/262412947_Regulation_of_potato_tuber_dormancy_A_review
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Pande, P. C., Singh, S. V., Pandey, S. K., & Singh, B. (2007). Dormancy, sprouting behaviour and weight loss in Indian potato (*Solanum tuberosum*) varieties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 77(11), 715-720.
https://www.researchgate.net/publication/294831490_Dormancy_sprouting_behaviour_and_weight_loss_in_Indian_potato_Solanum_tuberosum_varieties
- Pino, M. T. (2016). Efectos del estrés hídrico y de altas temperaturas en el cultivo de papa. En M. T. Pino (Ed.), *Estrés hídrico y térmico en papas: Avances y protocolos* (pp. 16-22). INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6486>
- Rodríguez, L. E., & Moreno, L. P. (2010). Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa: Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 38(2), 189-197.
<https://www.redalyc.org/pdf/1803/180315602008.pdf>

- Rodríguez-Pérez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 97-108.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1229/1228
- Salas, F. C., Quiroz, E. C., & Puelles, T. J. (2016a). *Polilla de la papa*. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/66841>
- Salas, F. C., Quiroz, E. C., & Puelles, T. J. (2016b). *Pulgon de la papa*. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/66863>
- Samuelle, J. (2019, 14 de agosto). Por qué habrá papa buena, bonita y barata todo el año. *El Observador*. <https://www.elobservador.com.uy/nota/por-que-habra-papa-buena-bonita-y-barata-todo-el-ano-201981316586>
- Sifuentes, E., Ojeda, W., Mendoza, C., Macías, J., Ruelas, J., & Inzunza, M. (2013). Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "Valle del Fuerte", Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 585-597.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000400008&lng=es&tlng=es
- Singh, K. A., Chakrabarti, K. S., Singh, B., Sharma, J., & Dua, K. V. (2020). *Potato science and technology for sub-tropics*. New India Publishing Agency.
https://www.researchgate.net/publication/339617611_Potato_Science_and_Technology_for_Sub-Tropics#pf22
- Sonnevald, S., & Sonnewald, U. (2014). Regulation of potato tuber sprouting. *Planta*, 239, 27-38. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1968-z>
- Struik, P. C. (2006). Physiological age of the seed potato. En NJF Nordic Association of Agricultural Scientists (Ed.), *Potato seed: Physiological age, diseases and variety testing in the Nordic countries* (pp. 3-5).
<https://edepot.wur.nl/25093>

- Suttle, J. (1998). Involvement of Ethylene in potato microtuber dormancy. *Plant Physiology*, 118, 843-848.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC34794/pdf/843.pdf>
- Van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. *Field Crops*, 52(3), 197-208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)
- Velástegui-Espín, G. P., Artieda-Rojas, J. R., Mera-Andrade, R. I., López-Villacís, I. C., Pazmiño-Miranda, N. P., & Espinoza-Vaca, J. S. (2018). Inhibición de la brotación del tubérculo de papa: Una revisión de los métodos empleados. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 55-64.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592018000200004&lng=es&tlng=es.
- Vilaró, F. (2008). Disponibilidad en semillas de papa: Alternativas para su abastecimiento. *Revista INIA*, (14), 39-41.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/915/1/18429270508163609.pdf>
- Vilaró, F., Pereira, G., & Rodriguez, G. (2004). *Características y recomendaciones de manejo del cultivar de papa INIA-Iporá*. INIA.
http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/lb/hd/2004/hd_86.pdf
- Viola, R., Pelloux, J., Der Ploeg, A., Gillespie, T., Marquis, N., Roberts., A., & Hancock, R. (2007). Symplastic connection is required for budoutgrowth following dormancy in potato (*Solanum tuberosum*L.) tubers. *Plant, Cell and Environment*, 30, 973-983.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3040.2007.01692.x>
- Visse-Mansiaux, M., Soyeurt, H., Herrera, J. M., Torche, J. M., Vanderschuren, H., & Dupuis, B. (2022). Prediction of potato sprouting during storage. *Field Crops Research*, 278, Artículo e108396.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108396>

Wang, Y., Naber, M., & Crosby, T. (2020). Effects of wound-healing management on potato post-harvest storability. *Agronomy*, 10(4), Artículo e512. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/512>

8. ANEXO

Caracterización de los ambientes por fecha

Galpón				
Fecha	T °C promedio	Rango (mín- máx)	HR %promedio	Rango (mín- máx)
7-7 / 28-7	13,2	10,9-15,7	73,9	62,7-90,2
28-7 / 12-8	11,3	5,8-17,3	71,4	60,7-90,9
12-8 / 17-8	9,9	8,1-12,6	60,5	49,6-69,6
17-8 / 24-8	14,4	8,8-24,7	64,3	37,9-90,8
24-8 / 31-8	14,9	10,8-19,5	64,9	53,1-75,6
31-8 / 7-9	16,6	12,5-21,3	62,6	43,9-83,3
7-9 / 14-9	9,9	6,9-15,6	66,3	56,6-88,1
Cámara 20 °C				
Fecha	T °C promedio	Rango (mín- máx)	HR% promedio	Rango (mín- máx)
7-7 / 28-7	19,8	19,3-20,1	70,4	57,7-93,7
28-7 / 12-8	19,7	19-22,8	70,7	58,3-87,8
12-8 / 17-8	19,8	19-20,1	61,2	47,1-70,9
17-8 / 24-8	19,7	19-22,8	66,9	49,1-84,8
24-8 / 31-8	19,6	19-21,1	67,1	50,3-85
31-8 / 7-9	19,6	18,8-20,2	75,9	63,6-89,7
Solario 30 °C				
Fecha	T °C promedio	Rango (mín- máx)	HR %promedio	Rango (mín- máx)
7-7 / 28-7	28	26,8-29	63,3	56,8-65,5
28-7 / 12-8	26,9	24,9-28,5	60,9	50,5-67,9
12-8 / 17-8	26,5	25,6-28,3	61,4	44,1-65,9
17-8 / 24-8	28,7	26,2-32,2	59,9	43,9-68,9
24-8 / 31-8	28	26,2-32,2	56,4	42,4-66
31-8 / 7-9	27,1	23,2-30,4	64,9	36,6-82,2