

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“TOLERANCIA A LA DESECACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ
CATIMOR (*Coffea arabica* L. x *Coffea canephora* Pierre ex A.
Froehner)”**

Presentada por:

GINA SOFÍA VARGAS TORRES

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

Lima-Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“TOLERANCIA A LA DESECACIÓN DE SEMILLAS DE CAFÉ
CATIMOR (*Coffea arabica* L. x *Coffea canephora***

Pierre ex A. Froehner)”

Presentada por:

GINA SOFÍA VARGAS TORRES

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. M. S. Andrés Casas Díaz

PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Cecilia Figueroa Serrudo

ASESORA

Dr. Raúl Blas Sevillano

MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Luis Beingolea Peña

MIEMBRO

Lima-Perú

2018

Dedico esta tesis a mis padres, Mila y Edgar; a mis hermanas, Angélica, Martina y Karina; a mi hermano, Edgar y a mis sobrinas, Shaiel y Aisha.

ÍNDICE GENERAL

I. Resumen	1
II. Introducción	3
III. Revisión de literatura	4
3.1 El café	4
3.1.1. <i>Coffea arabica</i> L.	4
3.1.2. <i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehner	5
3.1.3. <i>Coffea liberica</i> W. Bull ex Hiern	5
3.2. Café “Catimor”	6
3.3. El fruto de café	6
3.4. La semilla del café	7
3.5. La germinación	7
3.5.1. Fases de la germinación	8
3.5.2. Ensayo de germinación	8
3.6. Germinación en café	11
3.6.1. Preparación de la semilla de café para la germinación	11
3.6.2. Proceso germinativo de la semilla de café	11
3.6.3. Consideraciones para la germinación de la semilla de café	12
3.7. Tolerancia a la desecación en semillas	13
3.8. Secado de semillas	13
3.8.1. Etapas del proceso de secado de semillas	13
3.8.2. Tasa de secado de semillas	14
3.9. Secado de café para beneficio en grano	15
3.10. Almacenamiento de semillas de café	15
3.11. Latencia en semillas	16
3.11.1. Definición de latencia	16
3.11.2. Tipos de latencia	16
3.12. Materia seca	16

IV. Materiales y métodos	17
4.1. Materiales	17
4.1.1. Material vegetal	17
4.1.2. Materiales de laboratorio	17
4.1.3. Equipos	18
4.2. Métodos	18
4.2.1. Procedimiento	18
4.2.2. Diseño estadístico	20
4.2.3. Parámetros a evaluar	23
V. Resultados y discusiones	26
5.1. Tasa de secado	26
5.2. Prueba de germinación	31
5.2.1. Porcentaje de germinación	31
5.2.2. Porcentaje de plántulas normales	37
VI. Conclusiones	42
VII. Recomendaciones	43
VIII. Referencias bibliográficas	43
IX. Anexos	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Tratamientos para los ensayos de tasa de secado y germinación.	24
Cuadro 2: ANVA para efectos principales y de interacción del porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado.	26
Cuadro 3: Análisis de varianza para efectos simples del % de humedad liberada por período de tiempo de secado).	27
Cuadro 4: Prueba T-Student para la comparación de los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado).	28
Cuadro 5: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1.	29
Cuadro 6: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2.	30
Cuadro 7: ANVA para efectos principales y de interacción del porcentaje germinación.	32
Cuadro 8: Análisis de varianza para efectos simples del porcentaje de germinación.	33
Cuadro 9: Porcentajes promedio de germinación a los 60 DDS y de humedades a la siembra de los tratamientos.	33
Cuadro 10: Prueba T-Student para la comparación de los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de germinación).	34
Cuadro 11: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1 (% Germinación).	36
Cuadro 12: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2 (% Germinación).	36
Cuadro 13: ANVA para efectos principales y de interacción (Porcentaje de plántulas normales).	37
Cuadro 14: Análisis de varianza para efectos simples (Porcentaje de plántulas normales).	38
Cuadro 15: Prueba T-Student para los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de plántulas normales).	39
Cuadro 16: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1 (% Plántulas normales).	40
Cuadro 17: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2 (% Plántulas normales).	41
Cuadro 18: Promedios de porcentajes de germinación y de plántulas normales.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Promedios de porcentaje en peso de humedad liberada/período de tiempo de secado.	28
Figura 2: Comparativo de promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado (niveles de B en el nivel a1).	30
Figura 3: Comparativo de promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado (niveles de B en el nivel a2).	30
Figura 4: Promedio de porcentaje de humedad después de cada secado.	31
Figura 5: Comparativo de promedios de germinación de los niveles de B en el nivel a1.	36
Figura 6: Comparativo de promedios de germinación de los niveles del factor tiempo de secado en el nivel a2 del factor condición de las semillas.	37
Figura 7: Comparativo de promedios de plántulas normales de los niveles del factor B en el nivel a1 del factor A.	40
Figura 8: Comparativo de promedios de plántulas normales de los niveles del factor B en el nivel a2 del factor A.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Porcentajes de humedad liberada/Período de tiempo de secado.	48
Anexo 2: Datos detallados de porcentaje en masa de agua perdida y porcentajes de humedad al final de los secados de cada repetición.	49
Anexo 3: Porcentajes de germinación.	51
Anexo 4: Porcentajes de plántulas normales	52
Anexo 5: 60 DDS, T1-R1	53
Anexo 6: 60 DDS, T2-R3	53
Anexo 7: 60DDS, T3-R3	53
Anexo 8: 60 DDS, T7-R1	53
Anexo 9: 60 DDS, T4-R1	53
Anexo 10: 60 DDS, T8-R4	53
Anexo 11: 60 DDS, T5-R3	54
Anexo 12: 60 DDS, T9-R2	54
Anexo 13: 60 DDS, T6-R3	54
Anexo 14: 60 DDS, T10-R1	54
Anexo 15: 60 DDS, T11-R2	54
Anexo 16: 60 DDS, T12-R2	54
Anexo 17: Secado de semillas en estufa	55
Anexo 18: Estufa	55
Anexo 19: Preparación del sustrato	55
Anexo 20: Semillas en papel toalla	55
Anexo 21: Rollos con semillas en envases	55
Anexo 22: Evaluaciones de germinación	55

I. RESUMEN

Los objetivos de la investigación fueron determinar el efecto de la desecación y de la remoción del endocarpio de la semilla de café ‘Catimor’ en su germinación y establecer la tasa de secado de la semilla. Para ello se colocaron las semillas con y sin pergamino en una estufa a 40 °C durante diferentes períodos de tiempo: 0, 6, 12, 18, 24 y 30 horas para reducir el contenido de humedad de las semillas, luego se las puso a germinar. En la prueba de germinación se utilizó el método “entre papel” y una cámara de germinación a 30°C de temperatura constante. Se realizaron evaluaciones de germinación a los 15, 20, 40 y 60 días después de la siembra. Para cualquiera de los tiempos de secado, los mayores promedios de porcentaje de germinación se obtuvieron en semillas sin pergamino y en estas los porcentajes de germinación fueron estadísticamente similares en un rango de contenido de humedad de 39 a 10%. Para la tasa de secado, resultó que esta fue mayor en las semillas sin pergamino. Se concluyó que, las semillas sin pergamino toleran la desecación sin comprometer la germinación hasta llegar a 10% de humedad y en las semillas con pergamino, la desecación favorece la germinación y ayuda a superar la latencia física y mecánica; además, las tasas de secado a 40°C aumentan con el tiempo de secado y las semillas sin pergamino pueden ser secadas hasta por 30 horas, pero en las semillas con pergamino este tiempo implica una pérdida de agua similar a la de 24 horas.

Palabras clave: Porcentaje de humedad, porcentaje de germinación, tasa de secado, café.

ABSTRACT

The objectives were to determine how affect the dewatering and removal of the parchment of the coffee seed Catimor variety in their germination, and to determine the drying rate of the coffee seed. In order to achive this, the seeds, with parchment and without parchment, were placed into a stove to a temperature of 40°C during different periods of times: 0; 6; 12; 18; 24 and 30 hours to reduce the moisture content in the seeds, put to germinate afterwards. To the germination test, it used the method “in paper” and a chamber of germination set to a constant temperature of 30°C. Germination was assessed at 15; 20; 40 and 60 days after planting the seeds. For any of the different drying times 0; 6; 12; 18 and 24 hours, the highest averages of germination percentage obtained were from the seeds without parchment and amog these, the germination percentages were statistically similar in an range between 39% and 10% of moisture content. For the drying rate, this was higher in the seeds without parchment. It is concluded that, the seeds without parchment tolerate the dewatering without compromising the germination up to 10% moisture and in seeds with parchment, dewatering favors the germination and helps to overcome phisical and mechanical latency; furthermore, the drying rate in coffee seeds at 40°C increase with the drying time and the seeds without parchment can be dried up to 30 hours but in the seeds with parchment this time would mean a loss of water similar to the 24 hours.

Key words: Moisture percentage, germination percentage, drying rate, coffee.

II. INTRODUCCIÓN

El café, originario de África, Sudán y Etiopía, es un cultivo de exportación de gran importancia para el desarrollo agrario e industrial que reporta muchas ganancias tanto para el Perú como para muchos otros países del mundo. Por ejemplo, en los países en vías de desarrollo, el café representa más del 80 por ciento de sus ingresos en exportaciones (Central de Organizaciones Productoras de Café y Cacao, 2012). Es uno de los productos más consumidos a nivel mundial, más por los países importadores que por los productores. Se le reconocen propiedades antioxidantes, nutritivas, entre otras, las cuales hacen que su consumo y sus consumidores, aumenten cada vez más. En el Manual de Café (Central de Organizaciones Productoras de Café y Cacao, 2012) se menciona que las principales zonas productoras se distribuyen en América, África, Asia y Oceanía. En la actualidad, el principal productor de café es Brasil, seguido por Vietman, Indonesia, Colombia, India, Honduras, Etiopía, Perú, Guatemala y México (FAO, 2016)

Perú se encuentra dentro de los 10 principales exportadores de café a nivel mundial y es el segundo exportador de café orgánico después de México. Además, el café es el principal producto agrícola de exportación peruana, encontrándose también dentro de los 10 principales productos de exportación del Perú (Minagri, 2017).

Los problemas que existen en el cultivo de café se presentan desde la siembra evitando que las plantas prosperen. Una de las limitantes del proceso de germinación podría ser el nivel de desecación de las semillas y el porcentaje de humedad que estas poseen en el momento de la siembra, el cual puede no ser el adecuado para la germinación. Por tales razones, esta investigación tuvo dos objetivos: determinar el efecto de la desecación y de la remoción del endocarpio de la semilla de café “Catimor” en su germinación y determinar las tasas de secado de estas semillas a diferentes tiempos de exposición a la temperatura de 40 °C, con la finalidad de saber cuánta humedad pueden perder por cada período de tiempo de secado a dicha temperatura. Esta información podrá ayudar a los agricultores a realizar un mejor manejo de semillas y controlar los contenidos de humedad, los cuales permitirán conocer el potencial de almacenamiento.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. EL CAFÉ

El café es un cultivo del género *Coffea*, dentro del cual se encuentran más de 100 especies, entre las cuales las más conocidas y comerciales son *Coffea arabica* L. (café arábica) y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (café robusta); además otra también conocida pero cultivada en menor escala es *Coffea liberica* W. Bull ex Hiern (ICO, Waller *et al.* citados por Rojo, 2014).

3.1.1. *Coffea arabica* L.

La clasificación taxonómica según APG III (2009), APG IV (2016) y Chase y Reveal (2009) es la siguiente:

- Clase: Equisetopsida C. Agardh
- Sub clase: Magnoliidae Novák ex Takht
- Superorden: Asteranae Takht
- Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl
- Familia: Rubiaceae Juss
- Género: *Coffea* L.
- Especie: *Coffea arabica* L.

Esta especie es originaria de Etiopía y Sudán, de mayor importancia económica, la más conocida y con mayor distribución en las áreas subtropicales y tropicales del mundo.

Coffea arabica L. se cultiva en toda Latinoamérica, en África Central y Oriental, en India y en Indonesia. Sus variedades más conocidas son “arabica” (typica) y “bourbon”, pero a partir de estas se han desarrollado nuevas cepas y cultivares diferentes como “Caturra” (forma compacta del “bourbon”), “Mundo Novo”. “Tico”, “San Ramón”, “Moca” y otras más. (Small, Waller *et al.*, Masefield *et al.* citados por Rojo, 2014).

3.1.2. *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner

Según APG III (2009), APG IV (2016) y Chase y Reveal (2009), la clasificación taxonómica es la siguiente:

- Clase: Equisetopsida C. Agardh
- Sub clase: Magnoliidae Novák ex Takht
- Superorden: Asteranae Takht
- Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl
- Familia: Rubiaceae Juss
- Género: *Coffea* L.
- Especie: *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner

Esta especie se cultiva en África Central y Occidental, en todo el Sudeste de Asia y un poco en Brasil, donde se le conoce como “Conillón” (Waller *et al.* citado por Rojo, 2014).

La identificación de cultivares de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner es confusa pero se reconocen dos formas principales que son “Robusta” y “Uganda” (ICO, Waller *et al.* citados por Rojo, 2014).

3.1.3. *Coffea liberica* W. Bull ex Hiern

La clasificación taxonómica según APG III (2009), APG IV (2016) y Chase y Reveal (2009) es la siguiente:

- Clase: Equisetopsida C. Agardh
- Sub clase: Magnoliidae Novák ex Takht
- Superorden: Asteranae Takht
- Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl
- Familia: Rubiaceae Juss
- Género: *Coffea* L.
- Especie: *Coffea liberica* W. Bull ex Hiern

Coffea liberica W. Bull ex Hiern se cultiva en Malasia y en África Occidental y se comercializa en pequeñas cantidades ya que su demanda es escasa debido a que su aroma y sabor lo hacen menos valorado (Small, Waler *et al.* citados por Rojo, 2014).

Esta es otra de las especies conocidas de café pero cultivada en menor escala. Supone menos del 1% de la producción mundial (ICO, Waller *et al.* citados por Rojo, 2014).

3.2. CAFÉ “CATIMOR”

Es un híbrido que se origina del cruzamiento de “Caturra Rojo” con el “Híbrido Timor”. Se caracteriza por tener un porte bajo de planta, tronco de grosor intermedio, un considerable número de ramas laterales, formando una copa medianamente vigorosa y compacta. Además de su relativa alta productividad, muestra un comportamiento favorable con respecto a la enfermedad de la roya, por lo menos a las razas de hongo *Hemileia vastatrix* que vienen proliferando en la caficultura peruana (Figueroa, 1990). El híbrido Timor es un híbrido natural de “Arabica” cruzado con “Robusta” (International Coffee Organization, s.f.)

Los cafés arábicas (*C. arabica*), que son aromáticos, dulces, ligeramente ácidos y achocolatados con un toque amargo y los cafés robustas (*C. canephora*), que son ásperos, astringentes y más amargos, son las dos principales especies de café que se producen, comercializan y cotizan en los diferentes mercados internacionales. En cuanto al nivel de cafeína, los arábicas registran un rango promedio entre 0.9 a 1.7 % y los robustas entre 1.6 a 2.8 %, es decir, los robustas contienen mayor cantidad de cafeína (Central de Organizaciones Productoras de Café y Cacao, 2012).

3.3. EL FRUTO DE CAFÉ

El fruto del cafeto es una drupa con forma esférica, más o menos ovoide. Tiene dos semillas que generalmente son planoconvexas, a menos que una aborte y aparezca el grano llamado “caracolillo”, en ese caso la parte plana desaparece (Nosti, 1963). El fruto del café puede tener tres o más semillas en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembriónía, es decir, cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula (Monroig, s.f.). El fruto tiene tres partes: la primera y más externa es el epicarpio, constituida por una sola capa de células de paredes finas; la segunda, el mesocarpo que es una sección

parenquimatosa rica en azúcares, taninos y sustancias colorantes; la tercera es el endocarpo o pergamino que es una cubierta de consistencia coriácea (Figueroa, 1984). El color verde del fruto, según su evolución hacia la maduración, cambia de verde a amarillento y posteriormente a rojo vinoso o amarillo típico de algunos cultivares de cafeto (Figueroa, 1984).

3.4. LA SEMILLA DEL CAFÉ

La semilla de café es elíptica o en forma de huevo, planiconvexa, posee un surco longitudinal en la superficie plana (Dedecca, citado por Eira *et al.*, 2006). La cubierta exterior de la semilla está formada por un endocarpio duro, marrón pálido, que se convierte en el "pergamino" después de secado. El endocarpio contiene una semilla encerrada que tiene una testa delgada, verde conocido como el espermoderma o "piel de plata" que es un remanente del perisperma (Mendes, citado por Eira *et al.*, 2006). El endospermo tiene una región externa dura y una región interna suave que rodean al embrión (Krug y Carvalho, Mendes, Dedecca, De Castro y Marraccini, citados por Eira *et al.*, 2006).

La semilla del café tiene un endospermo córneo, cuyos tejidos contienen almidón, sustancias grasas, azúcares, taninos, cafeína, etc. En un extremo se encuentra el embrión de raicilla cónica y cotiledones cordiformes (Coste, 1969). El embrión de la semilla mide 2 a 5 mm de largo, tiene un hipocotilo cilíndrico y dos cotiledones superpuestos (Figueroa, 1984).

El endospermo está recubierto por dos envolturas que son: el endocarpio (parche) del fruto y el tegumento seminal (película) que es muy fina (Coste, 1969).

3.5. LA GERMINACIÓN

La germinación es un fenómeno biológico que puede ser considerado botánicamente como la reanudación del crecimiento del embrión, con el consiguiente rompimiento del tegumento por la radícula (Laboriau citado por Quispe, 2012).

La germinación de semillas en un ensayo de laboratorio es la emergencia y la aparición de las estructuras esenciales del embrión, lo que demuestra la capacidad para producir una

plántula normal en condiciones favorables de campo (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009).

3.5.1. FASES DE LA GERMINACIÓN

Desde el punto de vista fisiológico, la germinación comprende cuatro fases (UFPEL, 2003):

- a. Absorción de agua
- b. Alargamiento de las células
- c. División celular
- d. Diferenciación de las células en tejidos

Desde el punto de vista físico-bioquímico se consideran las siguientes fases (UFPEL, 2003):

- a. Rehidratación
- b. Aumento de la respiración
- c. Síntesis de enzimas o activación de enzimas pre-existentes
- d. Digestión enzimática de las reservas
- e. Movilización y transporte de reservas
- f. Asimilación metabólica
- g. Crecimiento y diferenciación de los tejidos

3.5.2. ENSAYO DE GERMINACIÓN

Los ensayos de germinación en laboratorio, se hacen para determinar el potencial máximo de germinación de un lote de semillas y para ello se utilizan métodos mediante los cuales se controlan las condiciones externas para dar una germinación más regular, rápida y completa para la mayoría de las muestras de una especie en particular (ISTA, 2004).

Según ISTA (2004), la clasificación e identificación de plántulas y semillas, es la siguiente:

- **Plántulas normales:** Son aquellas que muestran potencial para su desarrollo en plantas normales cuando crecen en suelos de buena calidad y bajo condiciones

favorables de humedad, temperatura y luz. Estas deben pertenecer a las siguientes categorías:

- **Plántulas intactas:** Tienen todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, proporcionadas y sanas.
 - **Plántulas con ligeros defectos:** Muestran ciertos defectos en sus estructuras esenciales, presentan desarrollo satisfactorio y equilibrado semejante al de las plántulas intactas.
 - **Plántulas con infección secundaria:** Se encuadran en los dos grupos anteriores, pero han sido afectadas por hongos o bacterias cuyo foco es distinto al de la semilla de la que proceden.
- **Plántulas anormales:** Son aquellas que no muestran potencial para desarrollarse en plantas normales, cuando crecen en suelos de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. Estas se clasifican en:
- **Plántulas dañadas:** Carecen de cualquiera de las estructuras esenciales o están muy dañadas o tan irreparablemente dañadas que no se puede esperar un desarrollo equilibrado.
 - **Plántulas deformadas o desequilibradas:** Con desarrollo débil o alteraciones fisiológicas, o en las que las estructuras esenciales están deformadas o desproporcionadas.
 - **Plántulas podridas:** Aquellas con estructuras esenciales enfermas o podridas como resultado de una infección primaria que impide su desarrollo normal.
- **Semillas no germinadas:** Semillas que no han germinado al final del ensayo, estas se clasifican en:
- **Semillas duras:** Semillas que permanecen duras al final del período de ensayo porque no han absorbido agua. Estas no pueden embeberse de agua bajo las condiciones establecidas y permanecen duras.

- **Semillas frescas:** Semillas, distintas de semillas duras, que no han germinado bajo las condiciones del ensayo de germinación, pero que permanecen sanas, firmes y tienen el potencial de desarrollarse en una plántula normal. Estas sí pueden embeberse de agua cuando se les brinda las condiciones establecidas pero el proceso de germinación está bloqueado.
- **Semillas muertas:** Son las que al final del ensayo no están ni duras ni frescas ni han producido ninguna estructura de la plántula; normalmente están blandas, decoloradas, frecuentemente enmohecidas.

Las estructuras esenciales de una plántula para su desarrollo posterior, dependiendo de la especie ensayada, pueden ser, según ISTA (2014):

- Sistema radicular (raíces primarias; en ciertos casos raíces seminales).
- Eje del brote (hipocotilo; epicotilo; en ciertos casos de Poaceae (Gramineae), mesocotilo; yema terminal).
- Cotiledones (uno o varios).
- Coleoptilo (en todas las Poaceae (Gramineae)).

3.6. GERMINACIÓN EN CAFÉ

3.6.1 PREPARACIÓN DE LA SEMILLA DE CAFÉ PARA LA GERMINACIÓN

Las cerezas se deben recolectar maduras de los dos tercios interiores de las ramas, eliminando las que están en el tercio exterior porque es probable que estas sean producto de una polinización extraña (Aliaga y Bermúdez, 1984). Después se debe hacer la prueba de flotamiento que consiste en sumergir 100 cerezos en agua, si flotan menos de 6 es una buena planta para extraer semilla y si flotan más de 6 se debe buscar otra planta para la extracción de los cerezos de buena calidad (Central de Organizaciones Productoras de Café y Cacao, 2012). Las cerezas obtenidas pueden ser despulpadas a mano y de inmediato desprovistas del mucílago; para ello se puede restregar con arena de río o ceniza, cuando se trata de pequeñas cantidades, o despulparlas a máquina cuidando de no dañar las semillas y fermentarlas, cuando se trata de mayores cantidades (Aliaga y Bermúdez, 1984). Después de eliminar el mucílago, se lavan con agua limpia y en este estado de humedad pueden ser sembradas de inmediato (Aliaga y Bermúdez, 1984). Cuando se desea almacenar semillas, estas deben ser lavadas y secadas hasta que tengan 10-12 % de humedad o cuando al estrujarlas tengan un sonido típico de cascajo, o también cuando al ser molidas, se quiebren (Aliaga y Bermúdez, 1984).

3.6.2 PROCESO GERMINATIVO DE LA SEMILLA DE CAFÉ

En *Coffea arabica* L., la primera manifestación de la germinación es la aparición de la radícula, tres o cuatro semanas después de la colocación de la semilla en el medio de enraizado (Coste, 1969). La radícula, en su alargamiento, emite raicillas laterales (Figueroa, 1984). Veinte o veinticinco días después, el tallito se diferencia a nivel del eje del hipocotilo y su alargamiento arrastra fuera de la tierra a la semilla, siempre envuelta en su endocarpio (germinación epígea) (Coste, 1969). A este estado de la plántula se le llama “soldadito”, “palo de fósforo” o “fosforito” (Figueroa, 1984). Poco tiempo después, aproximadamente 15 días más, esta ligera cáscara se desprende y dos “pre hojas” u hojas cotiledonares, muy distintas de las hojas normales, se expanden en forma de dos superficies redondeadas de 2 a 4 cm de diámetro y con bordes ondulados (Coste, 1969).

En medio del par de hojas cotiledonares se distingue a la yema apical que luego constituye el eje central o tallo, del cual se formarán las correspondientes ramificaciones. A este estado se le denomina “mariposa”. En total, la germinación dura en promedio 60 días (Figuerola, 1984).

3.6.3 CONSIDERACIONES PARA LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA DE CAFÉ

A continuación se citan algunas consideraciones para la germinación:

- a.** Mientras más reciente haya sido la recolección de la semilla, su poder germinativo será más alto, decreciendo este con el tiempo (FONCAFE, 1977).
- b.** Una semilla con pergamino germina entre los 50 y 70 días y la remoción del mismo acelera la germinación en 20 días (Huxley, Valencia, Valio, Velasco y Gutiérrez citados por Arcila *et al.*, 2007).
- c.** La presencia del pergamino inhibe drásticamente la germinación de las semillas de café (Valio citado por Eira *et al.*, 2006).
- d.** En Brasil, el nivel crítico de humedad del grano para la germinación está entre 8 y 9% (Bachi citado por Arcila *et al.*, 2007).
- e.** Según Barboza y Herrera (1990), el porcentaje de humedad en la semilla de café resulta ser un factor importante en su germinación. Así, en un experimento encontraron que las semillas con 40 por ciento de humedad obtuvieron mayores valores de germinación que las que tenían 30 por ciento. Esto coincidió con otras investigaciones (Rodríguez y Leme, Van der Vossen citados por Barboza y Herrera, 1990). Los autores explicaron que en las semillas con un contenido de humedad de 40%, valor poco menor al contenido de humedad de imbibición, operan mecanismos que permiten disminuir el efecto de los procesos de deterioro (Villiers y Edgecumbe, Willson y Mc Donald, Savino *et al.*, Burgass y Powell citados por Barboza y Herrera, 1990).

f. La temperatura óptima para que germine la semilla de café es de 28 a 30°C (Wellman y Toole, Huxley citados por Arcila *et al.*, 2007). En Cenicafé se ha observado que las semillas germinan bien a temperatura ambiente (20 - 25°C) (Arcila *et al.*, 2007).

g. La luz blanca retrasa la germinación de las semillas (Valio y da Silva *et al.* citados por Gonzáles de Miguel, 2007). Esto se debe, según algunos autores, a que el café es una planta de sombra.

3.7. TOLERANCIA A LA DESECACIÓN EN SEMILLAS

De acuerdo con la tolerancia a la desecación, las semillas pueden clasificarse como “ortodoxas”, las cuales al desprenderse de la planta poseen bajos contenidos de humedad y pueden tolerar mayor desecación sin dañarse, o “recalcitrantes”, las cuales al desprenderse de la planta poseen altos contenidos de humedad, son muy sensibles a la desecación y pierden su viabilidad rápidamente incluso con altos contenidos de humedad. La semilla de café ha sido clasificada como un tipo intermedio porque presenta comportamientos de tolerancia a la desecación, propios de ambos grupos (Ellis y Eira *et al.* citados por Arcila *et al.*, 2007).

3.8. SECADO DE SEMILLAS

El secado consiste en remover o retirar el agua de las semillas. El agua está presente en forma líquida en los constituyentes celulares, y en forma de vapor en los espacios intercelulares (UFPEL, 2003).

3.8.1. ETAPAS DEL PROCESO DE SECADO DE SEMILLAS

Como se menciona en el Manual de Procesamiento y Análisis de Semillas (UNS, s.f.), el proceso de secado comprende dos etapas bien definidas:

a. Primera etapa: Está dada por la transferencia de la humedad desde la superficie de la semilla, hacia el aire. Aquí el secado ocurre simplemente cuando la presión de vapor ejercida por la humedad superficial de la semilla es mayor a la del aire que la rodea. En este caso la velocidad de secado disminuye a medida que la diferencia entre ambas presiones se hace menor y finalmente se detiene cuando se alcanza un equilibrio entre ambas. Por ello, es muy

importante renovar de manera continua y por diferentes mecanismos, la masa de aire que rodea las semillas, con la finalidad de que este proceso se realice de la forma más rápida y eficaz.

b. Segunda etapa: Está dada por la transferencia de la humedad del interior de las semillas hacia las superficies de las mismas. Aquí el traslado del agua dentro de las semillas hacia la superficie de las mismas ocurre por difusión desde las zonas más húmedas, hacia las zonas más secas. La velocidad del secado mediante este movimiento varía de acuerdo con cada especie y método utilizado y se debe tener en cuenta que es posible registrar cambios muy importantes en las semillas.

3.8.2. TASA DE SECADO DE SEMILLAS

La tasa de secado es la variación de humedad del producto durante el secado (FAO, s.f.).

El secado de la semilla involucra la temperatura de secado y el contenido final de humedad de la semilla. Se ha sugerido que las semillas de café deben secarse a la sombra pero se ha demostrado que es posible secarlas al sol o artificialmente con temperatura de hasta 45°C siempre y cuando el contenido de humedad de estas no se rebaje a menos de 12 – 13% (Arcila citado por Arcila *et al.*, 2007).

Sierra *et al.* (citados por Arcila *et al.*, 2007) evaluaron el efecto de temperaturas de 30; 45 y 60°C del aire de secado, encontrando que a 45 y 60°C, la capacidad germinativa de la semilla se redujo gradualmente a medida que evolucionaba el secado, pero esa reducción fue mayor a 60°C. Al analizar la evolución del calentamiento de las semillas durante el secado, se observó que su germinación empezaba a reducirse cuando estas habían alcanzado una temperatura de 40°C; esto ocurrió independientemente de la humedad de la semilla en ese instante. La germinación de las semillas se redujo más drásticamente cuando estas tuvieron un porcentaje de humedad por debajo del 10 por ciento.

3.9. SECADO DE CAFÉ PARA BENEFICIO EN GRANO

La práctica de secado busca disminuir el agua del grano; este contiene alrededor de 55% de humedad después del lavado. Si se emplean altas temperaturas en el secado, puede ocurrir volatilización de compuestos aromáticos. Aunque la cápsula del pergamino casi no se modifica, salvo las conocidas grietas en el café de altura; el grano de café oro se encoge para dar origen a una bolsa de aire entre el pergamino y el oro. Para ser almacenado, el grano de café debe contener entre el 10 y el 12% de humedad (ANACAFÉ, 2011).

Las altas temperaturas en el secado están relacionadas con la degradación de la membrana celular y como consecuencia puede haber fuga de lípidos que se oxidan afectando la estructura de los granos de café y la calidad sensorial del producto (Carteri *et al.* citado por Henao).

El uso de temperaturas de secado demasiado bajas genera períodos de secado largos que alteran la calidad del café, ya que cuando el contenido de humedad es alto se desarrollan microorganismos que producen compuestos no deseados como el ácido butírico y propiónico. El uso de temperaturas altas (60°C) al comienzo del secado cuando el grano tiene una humedad por encima del 30%, seguido de una reducción en la temperatura del aire (40°C), resulta en una remoción menos intensa de la humedad favoreciendo la calidad en taza (Taveira *et al.* citado por Henao).

3.10 ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE CAFÉ

El protocolo de almacenamiento hermético a 10°C con alrededor de 10-11% de humedad en base a peso fresco parece ser la mejor forma de mantener la viabilidad de la semilla en café Arábica (Ellis *et al.*, Hong y Ellis citados por Cedeño, 2012). Las semillas de *Coffea canephora* deben almacenarse con 13-15% de humedad, a 10-15°C de temperatura (Camargo *et al.*, Hong y Ellis, y Rosa *et al.*, citados por Cedeño, 2012).

El almacenamiento del café para beneficio en grano se debe hacer en un lugar higiénico, libre de contaminantes extraños, el producto debe estar sobre parihuelas para que este no haga contacto con el suelo y el café debe tener un 12% de humedad (Aquino, 2011).

3.11. LATENCIA EN SEMILLAS

3.11.1. DEFINICIÓN DE LATENCIA

La latencia es una condición de una semilla viable que impide que esta germine en presencia de los factores que normalmente se consideran suficientes para la germinación: temperatura adecuada, humedad y medio ambiente gaseoso (FAO, s.f).

3.11.2. TIPOS DE LATENCIA

La latencia puede ser de diferentes tipos y una de las clasificaciones (Gordon y Rowe citados por FAO, sf.) indica las siguientes formas:

a. Latencia exógena o del pericarpio: Puede ser física (impermeabilidad de la cubierta al agua), química (por presencia de inhibidores en la cubierta) y mecánica (resistencia mecánica del pericarpio al crecimiento del embrión).

b. Latencia endógena o del embrión: Puede ser:

- Latencia endógena morfológica: por el subdesarrollo del embrión.
- Latencia endógena fisiológica: Mecanismo fisiológico inhibitorio que impide la germinación. Esta puede ser superficial, intermedia y profunda.

c. Latencia combinada: Puede ser morfofisiológica o exógena/endógena.

3.12. MATERIA SECA

El café, químicamente se compone de agua y materia seca. La materia seca de los granos de café almendra está constituida por minerales y por sustancias orgánicas como los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides, ácidos carboxílicos, ácidos fenólicos y por compuestos volátiles que dan el aroma a la almendra (Puerta citado por Henao). Los principales constituyentes del café son los carbohidratos, estos pueden representar más del 50% del peso seco. Los carbohidratos junto con los aminoácidos son precursores de la reacción de Maillard en la cual se potencializa el desarrollo del color y compuestos aromáticos (Farah citado por Henao).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina, la cual está ubicada en el distrito de La Molina, provincia y región Lima.

Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y en el Laboratorio de Semillas del Departamento Académico de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

4.1. MATERIALES

4.1.1. MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron semillas de café “Catimor” procedentes del distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa, Departamento de Pasco.

4.1.2. MATERIALES DE LABORATORIO

- Etiquetas
- Crisoles
- Papel toalla
- Envases de plástico
- Envases de vidrio
- Agua destilada
- Desecador
- Sílica gel
- Materiales de escritorio (cuaderno de apuntes, lapiceros, lápices, plumones, borrador, corrector, tajador, hojas cuadriculadas, hojas bond, cinta masking tape, tijera, regla).

4.1.3. EQUIPOS

- Cabina de germinación (Seedburo).
- Estufa (Precision Scientific Co.Ps-Thelco Model 18)
- Cámara fotográfica marca Panasonic (Modelo DMC-FH6)
- Balanza analítica con una aproximación de 0.001g.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. PROCEDIMIENTO

a. Determinación de la tasa de secado

Se contó con un lote de semillas de café cv “Catimor”, que se dividió en dos partes: semillas con pergamino y semillas sin pergamino. A estas últimas se les retiró el pergamino manualmente. Se determinó el porcentaje de humedad inicial de las semillas, mediante el método de la estufa, a 110 °C por 24 horas (Cedeño, 2012), para lo cual se empleó una muestra de trabajo de 10 semillas por cada repetición, siendo un total de dos repeticiones para cada condición de la semilla (con pergamino y sin pergamino). Luego de haber determinado la humedad inicial se procedió a secar las semillas en una estufa, con un sistema de secado donde el aire se mueve por convección, a 40 °C en base a las investigaciones de Arcila citado por Arcila *et al.* (2007), por tiempos variables: 0, 6, 12, 18, 24 y 30 horas. En cada tratamiento se secaron cuatro repeticiones, cada una en un crisol y en cada uno de estos se utilizaron 50 semillas. Después de transcurrido cada tiempo de secado, los crisoles fueron retirados de la estufa. Antes y después del secado, las muestras fueron pesadas para poder determinar la tasa de secado y la humedad perdida en el tiempo correspondiente a cada tratamiento.

A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo de las tasas de secado:

$$\% \text{ en masa de humedad liberada} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100\%$$

- Mi: Masa de la muestra antes de ser sometida al secado (gramos).
- Mf: Masa de la muestra después de haber sido sometida al secado (gramos).

$\% \text{ en masa de humedad liberada/periodo de secado} = \frac{\% \text{ en masa de humedad liberada}}{b}$

- b: Niveles del tiempo de secado (b1=0 horas, b2=6 horas, b3=12 horas, b4=18 horas, b5=24 horas y b6=30 horas).

Observación: Se hace mención al porcentaje en masa de humedad liberada porque los cálculos están basados en masa de agua, pero este se indicará como “Porcentaje de Humedad Liberada”.

b. Cálculos de porcentaje de humedad después de cada secado

Los porcentajes de humedad de las muestras, después de cada secado, se determinaron en base a los cálculos realizados a partir de los datos de secado teniendo en cuenta que en este se pierde agua y la materia seca permanece constante.

La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de humedad de las muestras después de cada secado fue la siguiente:

$\% \text{ de humedad después del secado} = \frac{(Mf - Mm.s.)}{Mf} \times 100\%$

- Mf: Masa de la muestra después del secado en el tiempo indicado, expresada en gramos.
- M m.s.: Masa de materia seca después de cada secado, expresada en gramos. Esta es igual a la masa de materia seca antes de que las muestras sean sometidas a secado (en el secado la materia seca se mantiene constante), la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Masa de materia seca inicial} = (\% \text{ de materia seca inicial}) \times \text{masa de muestra inicial}$$

En esta fórmula, la masa de la materia seca inicial está referida a la masa de la muestra sin secado, en gramos. El porcentaje de materia seca inicial se calculó a partir del porcentaje de humedad determinado al inicio por el “método de la estufa” en las semillas sin pergamino y con pergamino. La masa de muestra inicial es la masa de la muestra de trabajo antes de ser sometida a secado.

c. Prueba de germinación

De las 50 semillas de cada repetición, se tomaron 25 para la prueba de germinación. Las pruebas de germinación se realizaron en el Laboratorio de Semillas del Departamento Académico de Fitotecnia de la UNALM, en un germinador regulado a 30°C de temperatura constante. Se emplearon toallas de papel humedecidas con agua destilada y las semillas fueron colocadas siguiendo el método “entre papel”. Los rollos, identificados con su número de repetición y tratamiento, fueron colocados dentro de envases de plástico con tapa y rotulados con su respectivo tratamiento. Estos envases permanecieron dentro del germinador durante 60 días y se realizaron cuatro evaluaciones dentro del proceso de germinación: a los 15, 20, 40 y 60 días después de la siembra (DDS).

4.2.2. DISEÑO ESTADÍSTICO

El procesamiento de datos para los dos ensayos se hizo con el paquete estadístico R- versión 3.4.

a. Tasa de secado

Los datos para analizar la tasa de secado se analizaron en un Diseño Factorial con dos factores en DCA (Diseño Completamente al Azar) con un diseño factorial de 2A6B con 4 repeticiones (50 semillas en cada una) por tratamiento. Se realizó el respectivo análisis de varianza y para la comparación de medias se emplearon las pruebas T-Student y Tukey ($p=0.05$).

La variable respuesta “**Porcentaje de humedad liberada/período de tiempo de secado**” tuvo el siguiente Modelo Aditivo Lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}; i = 1; \dots; p [p=2]; j = 1; \dots; q [q=6]; k=1; \dots; r_{ij} [r_{ij} = r = 4]$$

Y_{ijk} = Porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

μ = Es el efecto del porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado medio general.

A_i = Es el efecto de la condición de la semilla i .

B_j = Es el efecto del tiempo de secado j .

$(AB)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción de la condición de la semilla i con el tiempo de secado j .

ϵ_{ijk} = Es el efecto del error experimental obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

b. Prueba de germinación

Los datos de germinación se analizaron de acuerdo a un Diseño Factorial con dos factores en DCA (Diseño Completamente al Azar), disponiendo así de un arreglo factorial de 2A6B, con 4 repeticiones (25 semillas en cada una) por tratamiento.

Se realizó el respectivo análisis de varianza; además, para las comparaciones de medias se emplearon dos tipos de pruebas: T-Student y Tukey ($p= 0.05$).

La variable respuesta “**Porcentaje de Germinación**” tuvo el siguiente Modelo Aditivo Lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}; i = 1; \dots; p [p=2]; j = 1; \dots; q [q=6]; k=1; \dots; r_{ij} [r_{ij} = r = 4]$$

Y_{ijk} = Porcentaje de germinación obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

μ = Es el efecto del porcentaje de germinación medio general.

A_i = Es el efecto de la condición de la semilla i .

B_j = Es el efecto del tiempo de secado j .

$(AB)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción de la condición de la semilla i con el tiempo de secado j .

ϵ_{ijk} = Es el efecto del error experimental obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

La variable respuesta **“Porcentaje de Plántulas Normales”** tuvo el siguiente Modelo Aditivo Lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}; i = 1, \dots, p [p=2]; j = 1, \dots, q [q=6]; k=1, \dots, r_{ij} [r_{ij} = r = 4]$$

Y_{ijk} = Porcentaje de plántulas normales obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

μ = Es el efecto del porcentaje de plántulas normales medio general.

A_i = Es el efecto de la condición de la semilla i .

B_j = Es el efecto del tiempo de secado j .

$(AB)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción de la condición de la semilla i con el tiempo de secado j .

ϵ_{ijk} = Es el efecto del error experimental obtenido con la condición de la semilla i , en el tiempo de secado j y la repetición k .

Los factores para ambos ensayos fueron los siguientes:

- Condición de las Semillas (A)

El factor condición de la semilla (A) presentó dos niveles (a): semillas sin pergamino (a1, s/p) y semillas con pergamino (a2, c/p).

- Tiempos de Secado a 40 °C (B)

El factor tiempo de secado a 40°C (B) presentó 6 niveles: b1 (0 horas), b2 (6 horas), b3 (12 horas), b4 (18 horas), b5 (24 horas) y b6 (30 horas).

Los tratamientos para ambos ensayos (tasa de secado y germinación) se muestran en el Cuadro 1.

4.2.3. PARÁMETROS A EVALUAR

a. Tasa de secado

- Tasa de secado por período de tiempo: Se consideró el porcentaje en peso de agua liberada por período de tiempo de secado.

b. Prueba de germinación

Se evaluaron las plántulas normales y anormales, y las semillas no germinadas teniendo en cuenta los estadios del proceso germinativo del café según Coste (1969) y Figueroa (1984).

- Plántulas normales

- **Plántulas con radícula e hipocotilo:** Aquellas plántulas en las que emergió la radícula y también el hipocotilo.

Cuadro 1: Tratamientos para los ensayos de tasa de secado y germinación

Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)	
	a1 (sin pergamino)	a2 (con pergamino)
b1 (0 horas)	T1: Semillas sin pergamino, sin secado (con contenido de humedad inicial).	T2: Semillas con pergamino, sin secado (con contenido de humedad inicial).
b2 (6 horas)	T3: Semillas sin pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 6 horas.	T7: Semillas con pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 6 horas.
b3 (12horas)	T4: Semillas sin pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 12 horas.	T8: Semillas con pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 12 horas.
b4 (18horas)	T5: Semillas sin pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 18 horas.	T9: Semillas con pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 18 horas.
b5 (24horas)	T6: Semillas sin pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 24 horas.	T10: Semillas con pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 24 horas.
b6 (30horas)	T11: Semillas sin pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 30 horas (tratamiento adicional).	T12: Semillas con pergamino, secadas a 40 °C por espacio de 30 horas (tratamiento adicional).

- **Plántulas en estado de “palo de fósforo”:** Aquellas plántulas en las que el hipocotilo creció llevando los cotiledones hacia arriba.
- **Plántulas entre estado “palo de fósforo” y “mariposa”:** Aquellas plántulas a las que se les comenzó a visualizar las hojas cotiledonares, pero sin desprendimiento total del endosperma.

- **Plántulas en estado “mariposa”:** Aquellas plántulas a las que se les diferenciaron las hojas cotiledonares.

- Plántulas anormales

Debido a que no existen parámetros nacionales o internacionales que definan plántulas anormales en café, se definieron a aquellas que presentaron doble raíz primaria, bifurcación de la raíz primaria, pocas raíces secundarias a partir de la raíz primaria o ausencia de ellas, raíz primaria corta y presencia de tres hojas cotiledonares.

- Semillas no germinadas

Solamente se identificaron semillas frescas y muertas de acuerdo a la clasificación de ISTA (2004).

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. TASA DE SECADO

A un nivel de significancia del 0.05 resultó que sí hay interacción significativa entre la condición de la semilla y el tiempo de secado (Cuadro 2).

Se pudo observar que para cada período de tiempo de secado, la presencia de pergamino en la semilla generaba una menor pérdida de humedad que con la ausencia de este. Es así que el pergamino puede funcionar como una barrera física que no solo inhibe drásticamente la germinación, como se explica en trabajos anteriores (Valio citado por Eira *et al.*, 2006), sino también limita la salida de agua de la semilla.

Cuadro 2: ANVA para efectos principales y de interacción del porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado

FV	GL	SC	CM	F	Pvalor
Condición	1	71.3833	71.38326274	79.8134	1.15447E-10***
Tiempo	5	6555.9	1311.17985	1466.03	0.0000E+00***
Cond. x Tiempo	5	23.4664	4.693286585	5.24755	0.001015733***
Error	36	32.1976	0.894377169		
Total	47	6682.95			

En el análisis de efectos simples, a un nivel de significancia de 0.05 resultó, que el factor condición de la semilla tuvo efecto significativo en cada nivel del factor tiempo de secado excepto sobre b1, el cual resultó no significativo, y que el factor tiempo de secado tuvo efecto significativo sobre ambos niveles del factor condición de la semilla (Cuadro 3).

El hecho de que el efecto de la condición de la semilla en el tiempo de secado de 0 horas no haya sido significativo, es debido a que las unidades experimentales no fueron sometidas a secado, por tanto, no existe pérdida de humedad en ninguna de ellas. El factor A tiene efecto en los tiempos de secado pues al secar la semilla durante un determinado tiempo, la presencia del pergamino o la ausencia de este pueden determinar si se pierde menor o mayor humedad

en la semilla. El factor B tiene efecto sobre ambos niveles de A debido a que el menor o mayor tiempo de secado al que se encuentran sometidas las semillas sin pergamino o con este, pueden generar la menor o mayor pérdida de humedad.

Cuadro 3: Análisis de varianza para efectos simples del porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado

F de variación	GL	SC	CM	Fcalcu	Ftab	Significancia
SC(Ab1)	1	0.000	0.00	0.000	4.113	NS
SC(Ab2)	1	12.238	12.24	13.683	4.113	(*)
SC(Ab3)	1	5.060	5.06	5.657	4.113	(*)
SC(Ab4)	1	40.8936457	40.89	45.723	4.113	(*)
SC(Ab5)	1	16.5983906	16.60	18.559	4.113	(*)
SC(Ab6)	1	20.0604746	20.06	22.430	4.113	(*)
SC(Ba1)	5	3574.913	714.98	799.420	2.477	(*)
SC(Ba2)	5	3004.452	600.89	671.854	2.477	(*)
Error exp	36	32.198	0.89			

En la comparación de medias de los niveles del factor condición de la semilla (A) en cada uno de los niveles del factor tiempo de secado (B), se hizo tan solo la prueba “T-Student”, debido a que el factor A presentó dos niveles. En dicha prueba resultó que para cualquiera de los tiempos de secado de 6, 12, 18, 24 y 30 horas existe diferencia estadística entre los promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado (Cuadro 4) y los mayores valores fueron obtenidos en semillas sin pergamino (Fig. 1).

Como se mencionó anteriormente, esto pudo deberse a que el pergamino es una barrera física que limita la salida de agua desde el interior de la semilla y al haber sido retirado se elimina dicha barrera generando mayor pérdida de humedad.

Cuadro 4: Prueba T-Student para la comparación de los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de humedad liberada por período de tiempo de secado)

Niveles de A en niveles de B	Prueba T	P-valor	Conclusión estadística a nivel de significancia de 0.05	Promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado	
A en b2	3.699	0.00072	Diferentes	a1b2 10.31	a2b2 7.84
A en b3	2.378	0.02281	Diferentes	a1b3 19.08	a2b3 17.49
A en b4	6.762	0.00000	Diferentes	a1b4 25.68	a2b4 21.16
A en b5	4.308	0.00012	Diferentes	a1b5 32.43	a2b5 29.55
A en b6	4.736	0.00003	Diferentes	a1b6 34.59	a2b6 31.42

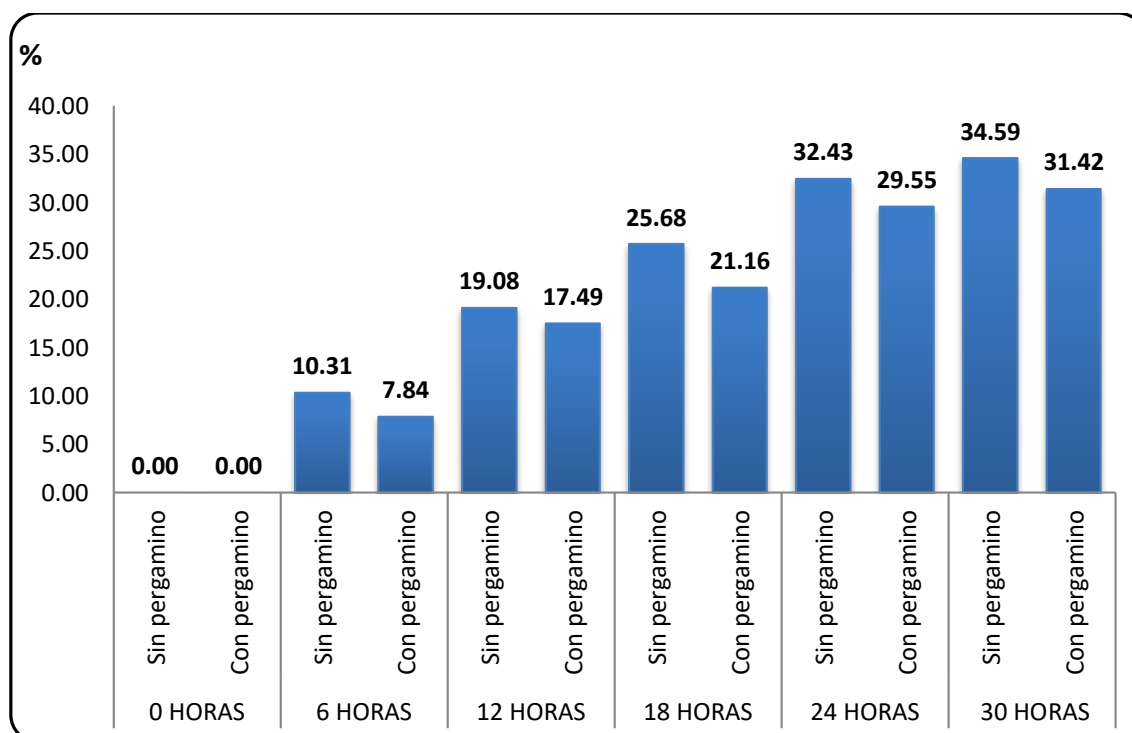


Figura 1: Promedios de porcentaje en peso de humedad liberada/período de tiempo de secado.

Al comparar los promedios de porcentajes de humedad liberada/período de tiempo de secado de los niveles del factor tiempo de secado (B) en cada uno de los niveles del factor condición de la semilla (A) se hicieron comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey (0.05). Cuando la condición de la semilla fue a1 (sin pergamino), todos los promedios resultaron ser estadísticamente diferentes (Cuadro 5) y el mayor de estos fue en el tiempo de secado de 30 horas (b6), con 34.59% de humedad liberada/período de tiempo de secado (Fig. 2). Cuando la condición de la semilla fue a2 (con pergamino), los promedios fueron todos estadísticamente diferentes excepto b5 con b6 (Cuadro 6), los cuales resultaron ser estadísticamente iguales (Fig. 3) y sus porcentajes de humedad perdida/período de tiempo fueron 29.55 y 31.42%, respectivamente.

La pérdida de agua por período de tiempo de secado se va haciendo mayor cuando mayor es la cantidad de horas de secado, pero en el caso en el que la pérdida de humedad resulte ser estadísticamente igual en las semillas con pergamino secadas durante 24 y 30 horas puede darse porque a medida que van pasando las horas de secado, la semilla va perdiendo un porcentaje de agua y le va quedando menor cantidad de agua por extraer en su composición.

Cuadro 5: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1

Niveles de B en a1	yi-yj		ALS	Significación
b1 y b2	10.31	>	2.0333	(*)
b1 y b3	19.08	>	2.0333	(*)
b1 y b4	25.68	>	2.0333	(*)
b1 y b5	32.4345205	>	2.0333	(*)
b1 y b6	34.5873306	>	2.0333	(*)
b2 y b3	8.77124494	>	2.0333	(*)
b2 y b4	15.3732761	>	2.0333	(*)
b2 y b5	22.1256484	>	2.0333	(*)
b2 y b6	24.2784585	>	2.0333	(*)
b3 y b4	6.60203112	>	2.0333	(*)
b3 y b5	13.3544034	>	2.0333	(*)
b3 y b6	15.5072136	>	2.0333	(*)
b4 y b5	6.75237231	>	2.0333	(*)
b4 y b6	8.90518249	>	2.0333	(*)
b5 y b6	2.15281018	>	2.0333	(*)

a1b6	a1b5	a1b4	a1b3	a1b2	a1b1
34.59	32.43	25.68	19.08	10.31	0.00

Figura 2: Comparativo de promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado (niveles de B en el nivel a1).

Cuadro 6: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2

Niveles de B en a2	 yi-yj 		ALS	Significación
b1 y b2	7.84	>	2.0333	(*)
b1 y b3	17.49	>	2.0333	(*)
b1 y b4	21.16	>	2.0333	(*)
b1 y b5	29.5536881	>	2.0333	(*)
b1 y b6	31.4202756	>	2.0333	(*)
b2 y b3	9.65432925	>	2.0333	(*)
b2 y b4	13.3250788	>	2.0333	(*)
b2 y b5	21.7184351	>	2.0333	(*)
b2 y b6	23.5850227	>	2.0333	(*)
b3 y b4	3.67074958	>	2.0333	(*)
b3 y b5	12.0641058	>	2.0333	(*)
b3 y b6	13.9306934	>	2.0333	(*)
b4 y b5	8.39335624	>	2.0333	(*)
b4 y b6	10.2599438	>	2.0333	(*)
b5 y b6	1.86658759	<	2.0333	NS

a2b6	a2b5	a2b4	a2b3	a2b2	a2b1
31.42	29.55	21.16	17.49	7.84	0.00

Figura 3: Comparativo de promedios de porcentaje de humedad perdida/período de tiempo de secado (niveles de B en el nivel a2).

Los porcentajes de humedad alcanzados después de someter a reducción de humedad a los diferentes grupos de semillas, se muestran en la Fig. 4.

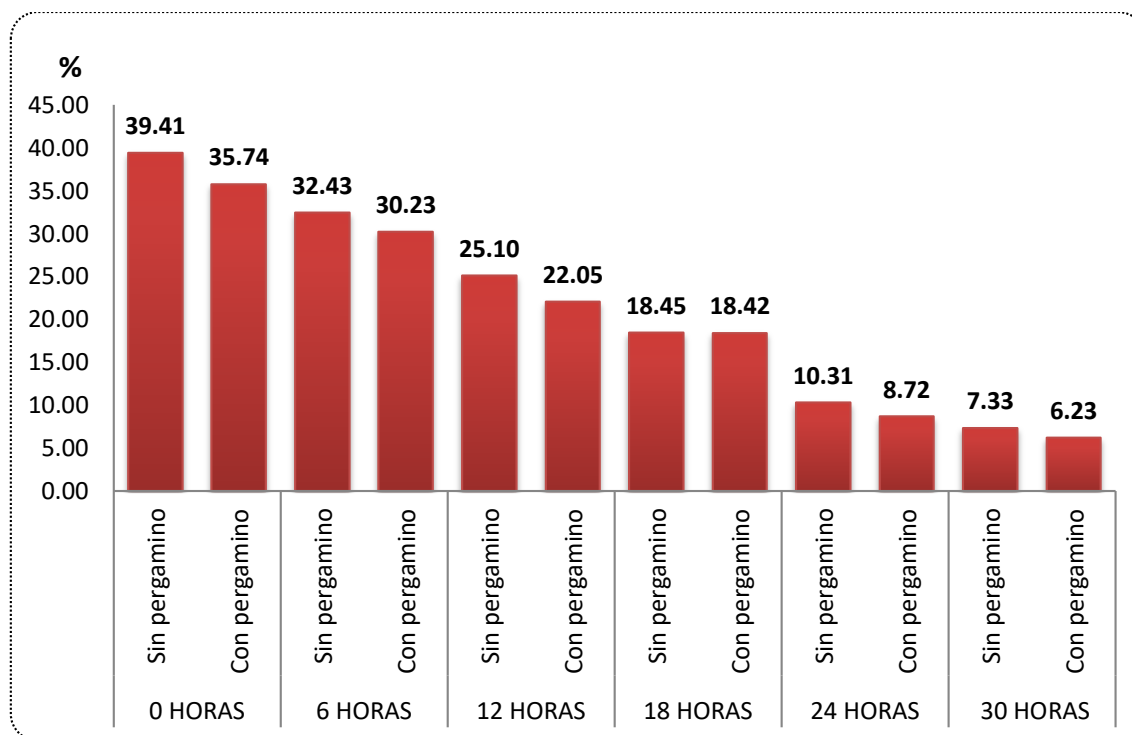


Figura 4: Promedio de porcentaje de humedad después de cada secado

5.2. PRUEBA DE GERMINACIÓN

En esta prueba de germinación de café Catimor, los resultados están basados en el porcentaje de germinación y los porcentajes de plántulas normales.

5.2.1 Porcentaje de germinación

A un nivel de significancia del 0.05 resultó que existe interacción significativa entre la condición de la semilla y el tiempo de secado (Cuadro 7).

Se puede observar que a medida que la semilla con pergamino se sometía a mayor cantidad de horas a secado, el pergamino se iba desprendiendo de la semilla y la germinación se hacía más fácil. Las semillas sin pergamino pudieron germinar mejor debido a que no tenían esa

barrera física que inhibe drásticamente la germinación. Esto coincide con trabajos de algunos investigadores (Valio citado por Eira *et al.*, 2006).

Cuadro 7: ANVA para efectos principales y de interacción del porcentaje de germinación

FV	GL	SC	CM	F	Pvalor
Condición de la semilla	1	24480.3	24480.33	223.678	2.e-16***
Tiempo de secado	5	1295	259	2.3665	0.059.
Condición de la semilla x tiempo de secado	5	5233.67	1046.733	9.56406	7.178e-06 ***
Error	36	3940	109.4444		
Total	47	34949			

Todos los efectos simples a un nivel de significancia de 0.05 fueron significativos, excepto el efecto de A en b₆ que no fue significativo; es decir, que en el secado de 30 horas, no existieron diferencias estadísticas entre el porcentaje de germinación en semillas sin pergamino y con pergamino (T11 con T12) y en los tiempos de secado de 0, 6, 12, 18 y 24 horas, sí existieron diferencias significativas entre el porcentaje de germinación resultante en semillas sin pergamino y con pergamino (T1 con T2, T3 con T7, T4 con T8, T5 con T9 y T6 con T10) (Cuadro 8).

El hecho de que en el secado de 30 horas no haya existido diferencia entre los porcentajes de germinación entre las semillas sin y con pergamino, pudo deberse a que los porcentajes de humedad están, en ambos casos, por debajo de 8% (Cuadro 9), nivel crítico de humedad para la germinación de la semilla, según Bachi (citado por Arcila *et al.*, 2007). Es importante indicar que en la práctica, el porcentaje de humedad de la semilla después de ser secada y que manejan los agricultores peruanos es en promedio 12%.

Cuadro 8: Análisis de varianza para efectos simples del porcentaje de germinación

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fcalcu	Ftab	Significancia
SC(Ab1)	1	13448.000	13448.00	122.875	4.113	(*)
SC(Ab2)	1	2312.000	2312.00	21.125	4.113	(*)
SC(Ab3)	1	5202.000	5202.00	47.531	4.113	(*)
SC(Ab4)	1	4232	4232.00	38.668	4.113	(*)
SC(Ab5)	1	4232	4232.00	38.668	4.113	(*)
SC(Ab6)	1	288	288.00	2.631	4.113	NS
SC(Ba1)	5	1395.333	279.07	2.550	2.477	(*)
SC(Ba2)	5	5133.333	1026.67	9.381	2.477	(*)
Error exp	36	3940.000	109.44			

Cuadro 9: Porcentajes promedio de germinación a los 60 DDS y de humedades a la siembra de los tratamientos

Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)			
	a1 (sin pergamino)		a2 (con pergamino)	
	%Germinación	%Hdad de la muestra	%Germinación	%Hdad de la muestra
b1 (0 horas)	96	39.41	14	35.74
b2 (6 horas)	88	32.43	54	30.23
b3 (12horas)	90	25.1	39	22.05
b4 (18horas)	93	18.45	47	18.42
b5 (24horas)	88	10.31	42	8.72
b6 (30horas)	72	7.33	60	6.23

Para determinar qué tratamientos resultaron mejor, se hicieron comparaciones de medias mediante la prueba T-Student de los niveles del factor condición de las semillas en cada uno de los niveles del factor tiempo de secado, debido a que solo hubo dos niveles en el factor A. En dicha prueba resultó que para cualquiera de los tiempos de secado de 0, 6, 12, 18 y 24 horas, los mayores promedios de porcentaje de germinación se obtuvieron en semillas sin pergamino (Cuadro 10).

Las semillas con pergamino pueden presentar latencia física (impermeabilidad del pergamino) y/o mecánica (resistencia mecánica del pergamino al crecimiento del embrión), razón por la cual al retirar la cubierta, se vence la latencia. Esto nos explica por qué las semillas sin pergamino presentaron mayor porcentaje de germinación. Es necesario indicar que las semillas no mejoran fisiológicamente, sino físicamente al superar la latencia con el secado y para semillas tropicales se recomienda la desecación para mejorar la germinación.

Cuadro 10: Prueba T-Student para la comparación de los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de germinación)

Niveles de A en niveles de B	Prueba T	P-valor	Conclusión estadística a nivel de significancia de 0.05	Promedios de Porcentaje de Germinación	
				a1b1	a2b1
A en b1	11.085	0.00000	Diferentes	96	14
A en b2	4.596	0.00005	Diferentes	88	54
A en b3	6.894	0.00000	Diferentes	90	39
A en b4	6.218	0.00000	Diferentes	93	47
A en b5	6.218	0.00000	Diferentes	88	42

Los porcentajes de germinación promedio de los niveles del factor tiempo de secado en cada uno de los niveles del factor condición de las semillas, se utilizaron para hacer las comparaciones múltiples con la Prueba de Tukey. Cuando la condición de las semillas fue a1 (sin pergamino), se obtuvieron resultados estadísticamente similares en el porcentaje de germinación con los diferentes tiempos de secado, no habiendo diferencias estadísticas entre estos, excepto entre b1 (0 horas) y b6 (30 horas) (Cuadro 11) que resultaron ser estadísticamente diferentes, con 96 y 72% de porcentajes de germinación, respectivamente (Fig. 5). Cuando la condición de las semillas fue a2 (con pergamino), se obtuvieron resultados estadísticamente similares en el porcentaje de germinación, no habiendo

diferencias estadísticas entre estos, salvo cuando el tiempo fue de 0 horas (b1) (Cuadro 12), en donde se obtuvo el porcentaje de germinación más bajo (14%) (Fig. 6).

El que se haya obtenido un porcentaje de germinación más bajo en semillas sin pergamino secadas 30 horas (Fig. 5), con contenido de humedad de 7.33% (Cuadro 9), puede explicarse de la siguiente manera: a mayores porcentajes de humedad operan mecanismos que permiten disminuir el efecto de los procesos de deterioro (Villiers y Edgcombe, Willson y McDonald, Savino et al., Burgass y Powell citados por Barboza y Herrera, 1990); por lo tanto, podría decirse que cuando el contenido de humedad baja, esos mecanismos se ven reducidos o anulados. Si bien es cierto que no hubo diferencias significativas en la germinación entre los tratamientos T11 y T12, pudiendo ser por el nivel crítico de humedad en el que se encontraban las semillas; también resultó que el efecto del desecado en las semillas con pergamino se manifestó con una mejora en el porcentaje de germinación y este fue más alto incluso cuando estas tuvieron el porcentaje de humedad debajo del rango crítico (8%) (Cuadro 9), probablemente porque el secado de las semillas pudo ayudar a superar la latencia física y/o mecánica, así se controló el efecto inhibitor del pergamino y el ligero desprendimiento de este de la semilla, generado por la pérdida de agua, facilitó la emergencia de la radícula lográndose así una mejor germinación. Se debe observar que en las semillas con pergamino, el segundo porcentaje de germinación más alto fue de 54% (Fig.6), el cual se obtuvo con un secado de 6 horas, contenido de humedad de 30.23% (Cuadro 9), en este caso también es necesario considerar que la relación entre contenido de humedad y deterioro de la semilla podría llevarnos a tener mayor seguridad de obtener mejores plántulas a partir de semillas sembradas con pergamino y secándolas durante 6 horas (30.23% de humedad) (Cuadro 9). En todo este análisis, también es necesario tener en consideración que la semilla de café es considerada una semilla intermedia entre “ortodoxa” y “recalcitrante” (Ellis, Eira et al. citados por Arcila et al., 2007).

Cuadro 11: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1 (% Germinación)

Nivel B en a1	yi-yj		ALS	Significación
b1 y b2	8.00	<	22.4924	NS
b1 y b3	6.00	<	22.4924	NS
b1 y b4	3.00	<	22.4924	NS
b1 y b5	8	<	22.4924	NS
b1 y b6	24	>	22.4924	(*)
b2 y b3	2	<	22.4924	NS
b2 y b4	5	<	22.4924	NS
b2 y b5	0	<	22.4924	NS
b2 y b6	16	<	22.4924	NS
b3 y b4	3	<	22.4924	NS
b3 y b5	2	<	22.4924	NS
b3 y b6	18	<	22.4924	NS
b4y b5	5	<	22.4924	NS
b4 y b6	21	<	22.4924	NS
b5 y b6	16	<	22.4924	NS

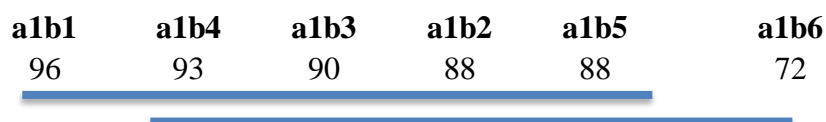


Figura 5: Comparativo de promedios de germinación de los niveles de B en el nivel a1

Cuadro 12: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2 (% Germinación)

Nivel B en a2	yi-yj		ALS	Significación
b1 y b2	40.00	>	22.4924	(*)
b1 y b3	25.00	>	22.4924	(*)
b1 y b4	33.00	>	22.4924	(*)
b1 y b5	28	>	22.4924	(*)
b1 y b6	46	>	22.4924	(*)
b2 y b3	15	<	22.4924	NS
b2 y b4	7	<	22.4924	NS
b2 y b5	12	<	22.4924	NS
b2 y b6	6	<	22.4924	NS
b3 y b4	8	<	22.4924	NS
b3 y b5	3	<	22.4924	NS
b3 y b6	21	<	22.4924	NS
b4y b5	5	<	22.4924	NS
b4 y b6	13	<	22.4924	NS
b5 y b6	18	<	22.4924	NS

a2b6	a2b2	a2b4	a2b5	a2b3	a2b1
60	54	47	42	39	14

Figura 6: Comparativo de promedios de germinación de los niveles del factor tiempo de secado en el nivel a2 del factor condición de las semillas

5.2.2. Porcentaje de plántulas normales

En el análisis del porcentaje de plántulas normales, a un nivel de significancia de 0.05 resultó que sí hay interacción significativa entre la condición de las semillas y el tiempo de secado (Cuadro 13).

La presencia o ausencia del pergamino y el tiempo de secado si es mayor o menor, influyen sobre la cantidad de semillas germinadas consideradas como normales con respecto al total de sembradas; fuera de las cuales se consideraron como anormales a aquellas que presentaron doble raíz primaria, pocas raíces secundarias a partir de la raíz primaria o ausencia de ellas, raíz primaria corta y presencia de tres hojas cotiledonares.

Cuadro 13: ANVA para efectos principales y de interacción (Porcentaje de plántulas normales)

FV	GL	SC	CM	F	Pvalor
Condición	1	21336.3	21336.33333	159.094	8.88178E-15
Tiempo	5	1061.67	212.3333333	1.58326	0.18964
Condición x Tiempo	5	6325.67	1265.133333	9.43347	8.19629E-06***
Error	36	4828	134.1111111		
Total	47	33551.7			

Después de haber realizado el análisis de efectos simples, se tuvo que todas las hipótesis a un nivel de significancia de 0.05 son significativas, excepto la hipótesis de A en b6; es decir, que en el secado de 30 horas, no se encontraron diferencias estadísticas entre el porcentaje de plántulas normales en semillas sin pergamino y con este, y que en los tiempos de secado

de 0, 6, 12, 18 y 24 horas sí existieron diferencias significativas entre el porcentaje de plántulas normales de semillas sin y con pergamino (Cuadro 14).

Por otro lado, que en el secado de 30 horas no haya existido diferencia significativa entre los porcentajes de plántulas normales entre las semillas sin y con pergamino, pudo deberse (de forma similar a lo que sucedió con los porcentajes de germinación en esta comparación) a que los porcentajes de humedad están, en ambos casos, por debajo de 8% el cual es el nivel crítico de humedad para la germinación de la semilla, según Bachi (citado por Arcila *et al.*, 2007).

Cuadro 14: Análisis de varianza para efectos simples (Porcentaje de plántulas normales)

F de variación	GL	SC	CM	Fcalcu	Ftab	Significancia
SC(Ab1)	1	12482.000	12482.00	93.072	4.113	(*)
SC(Ab2)	1	2048.000	2048.00	15.271	4.113	(*)
SC(Ab3)	1	5202.000	5202.00	38.789	4.113	(*)
SC(Ab4)	1	4050	4050.00	30.199	4.113	(*)
SC(Ab5)	1	3872	3872.00	28.872	4.113	(*)
SC(Ab6)	1	8	8.00	0.060	4.113	NS
SC(Ba1)	5	2573.333	514.67	3.838	2.477	(*)
SC(Ba2)	5	4814.000	962.80	7.179	2.477	(*)
Error exp	36	4828.000	134.11			

En la determinación de los mejores tratamientos, para la comparación de los niveles del factor condición de las semillas en cada uno de los niveles del factor tiempo de secado, se hicieron comparaciones de medias mediante la prueba T-Student y resultó que para los tiempos de secado de 0, 6, 12, 18 y 24 horas, los mayores promedios de porcentaje de plántulas normales se obtuvieron en semillas sin pergamino (Cuadro 15).

Como se mencionó anteriormente, esto pudo deberse a que el pergamino es una barrera física que limita la germinación de la semilla y al haber sido retirado, se elimina dicha barrera y hubo mayor cantidad de semillas germinadas y de plántulas normales.

Cuadro 15: Prueba T-Student para los niveles de A en los niveles de B (Porcentaje de plántulas normales)

Niveles de A en niveles de B	Prueba T	P-valor	Conclusión estadística a nivel de significancia de 0.05	Promedios de porcentaje de plántulas normales	
				a1b1	a2b1
A en b1	9.647	0.00000	Diferentes	93	14
A en b2	3.908	0.00039	Diferentes	82	50
A en b3	6.228	0.00000	Diferentes	89	38
A en b4	5.495	0.00000	Diferentes	91	46
A en b5	5.373	0.00000	Diferentes	85	41

Al comparar los niveles del factor B en cada uno de los niveles del factor A, se hizo la Prueba de Tukey. Cuando la condición de las semillas fue a1, se obtuvieron resultados estadísticamente similares en el porcentaje de plántulas normales con los diferentes tiempos de secado, excepto entre b6 con b1, b3 y b4 que resultaron ser estadísticamente diferentes (Cuadro 16); además de ello, entre las semillas sin pergamino, el porcentaje de plántulas normales más bajo se obtuvo en el tiempo de secado de 30 horas (62%), el segundo más bajo fue con 6 horas (82%) y el siguiente con 24 horas (85%), y el porcentaje de plántulas normales más alto fue 93% (0 horas), el siguiente de 91% (b4) y 89% (b3) (Fig. 7); es así que finalmente, resultan ser estadísticamente similares en orden de mayor a menor porcentaje de plántulas normales: b1, b4, b3, b5 y b2. Cuando la condición de la semilla fue a2, se obtuvieron resultados estadísticamente similares en el porcentaje de plántulas normales, con excepción del tiempo de 0 horas de secado (b1) que resultó ser estadísticamente diferente con b2, b4, b5 y b6 (Cuadro 17). El menor porcentaje de plántulas normales en semillas con pergamino fue de 14% (b1), que resultó ser estadísticamente similar con b3 que fue con el que se obtuvo 38% de plántulas normales y los mayores fueron 60% (b6), y 50% (b2) (Fig. 8).

El que se haya obtenido un porcentaje de plántulas normales más bajo en semillas sin pergamino secadas 30 horas (con 7.33% de humedad promedio en las muestras), también puede estar relacionado con que los bajos porcentajes de humedad pueden limitar la activación de mecanismos que disminuyen el deterioro de las semillas (Villiers y Edgecumbe, Willson y Mc Donald, Savino et al., Burgass y Powell citados por Barboza y Herrera, 1990). Por otro lado, que en las semillas con pergamino el porcentaje de plántulas normales haya sido mayor en las semillas con un porcentaje de humedad por debajo del rango crítico (8%), pudo deberse a que el pergamino al desprenderse con el secado, haya dado mayor facilidad para la emergencia de la radícula y posterior desarrollo de plántulas normales; además, la presencia del pergamino pudo servir de protección a la semilla y al embrión contra daños mecánicos que pudieron manifestarse con anormalidades, teniendo así mayor probabilidad de desarrollo de plántulas normales.

Cuadro 16: Prueba de Tukey para los niveles de B en a1 (% Plántulas normales)

Nivel B en a1	yi-yj		ALS	Significación
b1 y b2	11.00	<	24.8984	NS
b1 y b3	4.00	<	24.8984	NS
b1 y b4	2.00	<	24.8984	NS
b1 y b5	8	<	24.8984	NS
b1 y b6	31	>	24.8984	(*)
b2 y b3	7	<	24.8984	NS
b2 y b4	9	<	24.8984	NS
b2 y b5	3	<	24.8984	NS
b2 y b6	20	<	24.8984	NS
b3 y b4	2	<	24.8984	NS
b3 y b5	4	<	24.8984	NS
b3 y b6	27	>	24.8984	(*)
b4 y b5	6	<	24.8984	NS
b4 y b6	29	>	24.8984	(*)
b5 y b6	23	<	24.8984	NS

a1b1	a1b4	a1b3	a1b5	a1b2	a1b6
93.00	91.00	89.00	85.00	82.00	62.00

Figura 7: Comparativo de promedios de plántulas normales de los niveles del factor B en el nivel a1 del factor A

Cuadro 17: Prueba de Tukey para los niveles de B en a2 (% Plántulas normales)

Nivel B en a2	yi-yj		ALS	Significación
b1 y b2	36.00	>	24.8984	(*)
b1 y b3	24.00	<	24.8984	NS
b1 y b4	32.00	>	24.8984	(*)
b1 y b5	27	>	24.8984	(*)
b1 y b6	46	>	24.8984	(*)
b2 y b3	12	<	24.8984	NS
b2 y b4	4	<	24.8984	NS
b2 y b5	9	<	24.8984	NS
b2 y b6	10	<	24.8984	NS
b3 y b4	8	<	24.8984	NS
b3 y b5	3	<	24.8984	NS
b3 y b6	22	<	24.8984	NS
b4 y b5	5	<	24.8984	NS
b4 y b6	14	<	24.8984	NS
b5 y b6	19	<	24.8984	NS

a2b6	a2b2	a2b4	a2b5	a2b3	a2b1
60.00	50.00	46.00	41.00	38.00	14.00

Figura 8: Comparativo de promedios de plántulas normales de los niveles del factor B en el nivel a2 del factor A

Cuadro 18: Promedios de porcentajes de germinación y de plántulas normales

Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)			
	a1 (sin pergamino)		a2 (con pergamino)	
	%Germinación	%Plántulas normales	%Germinación	%Plántulas normales
b1 (0 horas)	96	93	14	14
b2 (6 horas)	88	82	54	50
b3 (12horas)	90	89	39	38
b4 (18horas)	93	91	47	46
b5 (24horas)	88	85	42	41
b6 (30horas)	72	62	60	60

VI. CONCLUSIONES

- 1.** Las semillas sin pergamino toleran desecación sin comprometer la germinación hasta llegar a 10% de humedad.
- 2.** En las semillas con pergamino, la desecación favorece a la germinación y ayuda a superar la latencia física y mecánica.
- 3.** La tasa de secado promedio en semillas de café sin pergamino a 40°C aumenta con el tiempo de secado existiendo liberación de humedad significativa hasta con un secado de 30 horas.
- 4.** La tasa de secado promedio en semillas de café con pergamino a 40°C aumenta con el tiempo, pero hacer un secado de 30 horas tendría resultados similares a uno de 24 horas pues los resultados estadísticos no son diferentes.

VII. RECOMENDACIONES

- 1.** En la determinación de la tasa de secado, se recomienda hacer pruebas en una estufa con aire forzado y tasas de flujo más altas para acelerar el tiempo de secado.
- 2.** En las pruebas de germinación utilizar diferentes sustratos para su comparación.
- 3.** Se recomienda hacer pruebas con mayor número de repeticiones y tamaños de muestras más grandes para la obtención de resultados más precisos y exactos.
- 4.** Si se desea poner a germinar semillas de café con pergamino, se recomienda un secado previo.
- 5.** Hacer investigaciones con otros cultivares de café y de diferentes lugares de procedencia para analizar el comportamiento y las respuestas de las semillas.
- 6.** Realizar determinaciones de humedad de las semillas después de ser secadas en campo y antes de ser sembradas. Registrar esta información y hacer seguimiento a las semillas en diferentes niveles de desecación, relacionándolo con la germinación obtenida y con los diversos factores que puedan ser afectados, generando así un historial que permita la toma de decisiones en diversas situaciones.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, J; Bermúdez, J. 1984. Manual práctico del cafetalero. Capítulo I: La semilla. PE. p. 15.
- ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café). 2011. El proceso de secado de café (en línea). GT. Consultado 15 ene. 2018. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Secadoras_Proceso
- APG (The Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants. APG III. Bot. J. Linn. Soc. 161: 105-121.
- APG IV (The Angiosperm Phylogeny Group IV). 2016. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Bot. J. Linn. Soc. 181 (1): 1-20.
- Arcila P, J; Farfán V, F; Moreno B, A; Salazar G, LF; Hincapié G, Edgar. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Capítulo IV: Establecimiento del cafetal (en línea). CO. p. 89-91. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en http://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf
- Barboza, R; Herrera, J. 1990. El vigor de la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento (en línea). CR. Consultado 08 jun. 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v14n01_001.pdf
- Cedeño G, GA. 2012. Potencial de almacenamiento de semillas de tres variedades de café (*Coffea arabica* L.) bajo condiciones ambientales de La Merced. Tesis Mg. Sc. Lima, PE, UNALM. p. 15; 16; 24.
- Central de Organizaciones Productoras de Café y Cacao. 2012. Manual del café. 2 ed. PE. p. 14-16.

- Chase, M. W. y Reveal, J. L. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. Bot. J. Linn. Soc. 161: 122-127.
- Coste, R. 1969. El café. ES. p. 29.
- Eira, MTS: Silva, EAA da; Castro, RD de; Dussert, S; Walters, C; Bewley, JD; Hilhorst, HWM. 2006. Coffee seed physiology. In: Plant Physiol. 2006. BR. p. 149-150.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Diez países que más producen Café. In: Merca 2.0. 2016 (en línea). Consultado 04 dic. 2017. Disponible en <https://www.merca20.com/top-10-de-los-paises-que-mas-producen-cafe/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (s.f). Guía para la manipulación de semillas forestales. Capítulo 2: Desarrollo de la semilla y el fruto, germinación y latencia (en línea) ITA. Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s02.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (s.f). Guía para la manipulación de semillas forestales. Capítulo 8: Tratamiento previo de la semilla (en línea) ITA. Consultado 04 ene. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s10.htm#ch8.2>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (s.f). Secado de granos: natural, solar y bajas temperaturas (en línea). ITA. Consultado 25 oct. 2017. Disponible en www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S02.htm
- Figueroa, R. 1984. La caficultura en el Perú. PE. p. 25-28.
- Figueroa, R. 1990. La caficultura en el Perú. 2 ed. PE. p. 17-20.
- FONCAFÉ (Fondo Nacional del Café). 1977. Manual cafetero. VE. p. 16.

- Gonzáles de Miguel, C. 2007. Producción de café en Honduras: Modelo de las relaciones cafeto-arbolado (en línea). p. 59. Consultado 15 jul. 2015. Disponible en http://oa.upm.es/959/1/PFC_CESAR_GONZALEZ_DE_MIGUEL.pdf

- Henao A, J. 2015. Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. Tesis. Mg. Sc. Medellín, CO, UNAL. p. 17; 20.

- International Coffee Organization. s.f. Aspectos botánicos del café (en línea). Consultado 25 oct. 2017. Disponible en [www.ico.org/es/botanical_casp?section=Acerca del caf%E9](http://www.ico.org/es/botanical_casp?section=Acerca_del_caf%E9)

- ISTA (International Seed Testing Association). 2004. International Rules for Seed Testing. Ed. 2004/1: 700 copies.

- Loli F, O; Aquino Y, R. 2011. Guía técnica. Curso-taller “Fertilización y postcosecha de café”. PE. p. 37.

- Monroig, M. M (s.f). Morfología del fruto (en línea). PR. Consultado 08 jun. 2015. Disponible en <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id53.htm>

- Nosti, J. 1963. Cacao, café y té. 2 ed. ES. p. 461.

- Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. Regras para Análise de Sementes. BR. p. 148.

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2017. Situación actual del café en el país (en línea). PE. Consultada 02 dic. 2017. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>

- Quispe R, EM. 2012. Morfología, germinación y viabilidad de semillas de *Tigridia* sp (Iridaceae), procedentes de las lomas de Villa María del Triunfo, Lima. Tesis Biólogo. Lima, PE, UNALM. p. 17.

- Rojo J, E. 2014. Café I (G. Coffea). In Reduca (Biología). Serie Botánica. 7 (2): 113-132 (en línea). ES. p. 113-116. Consultado 12 jul. 2017. Disponible en <http://eprints.ucm.es/27835/1/1757-2066-1-PB.pdf>

- UFPEL (Universidad Federal de Pelotas); PNS (Programa Nacional de Semillas-Bolivia). 2003-2004. Curso de Postgrado de Especialización en Tecnología de Semillas por Tutoría a Distancia. Módulo 2: Fisiología de Semillas. BO. p. 62.

- UFPEL (Universidad Federal de Pelotas); PNS (Programa Nacional de Semillas-Bolivia). 2003-2004. Curso de Postgrado - Especialización en Ciencia y Tecnología de Semillas por Tutoría a Distancia. Módulo 6: Secado de Semillas. BO. p. 17.

- UNS (Universidad Nacional del Sur) (s.f.). Procesamiento y Análisis de Semillas. AR. p. 122-123.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Porcentajes de humedad liberada/Período de tiempo de secado

Porcentaje en masa de agua liberada/Período de tiempo de secado (%/período de tiempo de secado)		
Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)	
	a1 (sin pergamino)	a2 (con pergamino)
b1 (0 horas)	0.000	0.000
	0.000	0.000
	0.000	0.000
	0.000	0.000
b2 (6 horas)	10.916	8.825
	9.829	8.256
	10.116	7.822
	10.374	6.438
b3 (12horas)	20.309	19.900
	19.555	17.475
	18.126	16.190
	18.330	16.394
b4 (18horas)	26.776	22.498
	25.705	22.042
	25.061	20.359
	25.187	19.742
b5 (24horas)	33.039	29.366
	32.400	28.977
	31.928	29.152
	32.372	30.719
b6 (30horas)	36.224	32.746
	34.779	31.347
	33.623	30.922
	33.723	30.666

Anexo 2: Datos detallados de porcentaje en masa de agua perdida y porcentajes de humedad al final de los secados de cada repetición

%EN MASA DE AGUA PERDIDA EN CADA SECADO A 40°C(%HUMEDAD INICIAL: T1=39.41 %, T2=35.74 %)						%DE HUMEDAD AL FINALIZAR CADA PERÍODO DE SECADO	
TRATAMIENTO	REPETICIÓN	% EN MASA DE AGUA LIBERADA/ PERÍODO DE SECADO	% EN MASA DE AGUA LIBERADA/HORA DE SECADO	% PROMEDIO EN MASA DE AGUA LIBERADA/ PERÍODO DE SECADO	% PROMEDIO EN MASA DE AGUA LIBERADA/HORA DE SECADO	%HUMEDAD DESPUÉS DEL SECADO	%HUMEDAD PROMEDIO DESPUÉS DEL SECADO
T3 (6 h, s/p)	R1	10.92	1.82	10.31	1.72	31.97	32.43
	R2	9.83	1.64			32.79	
	R3	10.12	1.69			32.58	
	R4	10.37	1.73			32.39	
T7 (6h, c/p)	R1	8.82	1.47	7.84	1.31	29.48	30.23
	R2	8.26	1.38			29.91	
	R3	7.82	1.30			30.24	
	R4	6.44	1.07			31.28	
T4 (12 h, s/p)	R1	20.31	1.69	19.08	1.59	23.96	25.10
	R2	19.56	1.63			24.67	
	R3	18.13	1.51			25.98	
	R4	18.33	1.53			25.80	
T8 (12 h, c/p)	R1	19.90	1.66	17.49	1.46	19.73	22.05
	R2	17.48	1.46			22.08	
	R3	16.19	1.35			23.28	
	R4	16.39	1.37			23.09	

Continuación Anexo 2:

T5 (18 h, s/p)	R1	26.78	1.49	25.68	1.43	17.24	18.45
	R2	25.70	1.43			18.43	
	R3	25.06	1.39			19.13	
	R4	25.19	1.40			19.00	
T9 (18 h, c/p)	R1	22.50	1.25	21.16	1.18	17.03	18.42
	R2	22.04	1.22			17.52	
	R3	20.36	1.13			19.26	
	R4	19.74	1.10			19.88	
T6 (24 h, s/p)	R1	33.04	1.38	32.43	1.35	9.50	10.31
	R2	32.40	1.35			10.35	
	R3	31.93	1.33			10.98	
	R4	32.37	1.35			10.39	
T10 (24 h, c/p)	R1	29.37	1.22	29.55	1.23	8.97	8.72
	R2	28.98	1.21			9.47	
	R3	29.15	1.21			9.24	
	R4	30.72	1.28			7.19	
T11 (30 h, s/p)	R1	36.22	1.21	34.59	1.15	4.98	7.33
	R2	34.78	1.16			7.09	
	R3	33.62	1.12			8.70	
	R4	33.72	1.12			8.57	
T12 (30 h, c/p)	R1	32.75	1.09	31.42	1.05	4.39	6.23
	R2	31.35	1.04			6.34	
	R3	30.92	1.03			6.92	
	R4	30.67	1.02			7.26	

Anexo 3: Porcentajes de germinación

Porcentaje de germinación (%)		
Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)	
	a1 (sin pergamino)	a2 (con pergamino)
b1 (0 horas)	96	8
	92	12
	100	28
	96	8
b2 (6 horas)	92	48
	96	52
	80	48
	84	68
b3 (12horas)	96	40
	88	28
	76	44
	100	44
b4 (18horas)	92	44
	92	52
	96	48
	92	44
b5 (24horas)	88	40
	80	36
	88	48
	96	44
b6 (30horas)	52	24
	72	76
	84	64
	80	76

Anexo 4: Porcentajes de plántulas normales

Porcentaje de plántulas normales (%)		
Tiempos de secado a 40 °C (B)	Condición de la semilla (A)	
	a1 (sin pergamino)	a2 (con pergamino)
b1 (0 horas)	92	8
	92	12
	96	28
	92	8
b2 (6 horas)	92	40
	96	52
	68	44
	72	64
b3 (12horas)	92	40
	88	28
	76	44
	100	40
b4 (18horas)	92	44
	88	52
	96	48
	88	40
b5 (24horas)	88	40
	80	36
	88	48
	84	40
b6 (30horas)	36	24
	60	76
	72	64
	80	76

Anexo 5: 60 DDS, T1-R1



Anexo 6: 60 DDS, T2-R3



Anexo 7: 60 DDS, T3-R3



Anexo 8: 60 DDS, T7-R1



Anexo 9: 60 DDS, T4-R1



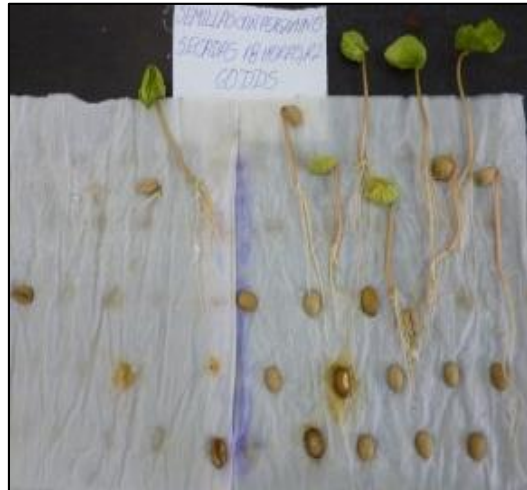
Anexo 10: 60 DDS, T8-R4



Anexo 11: 60 DDS, T5-R3



Anexo 12: 60 DDS, T9-R2



Anexo 13: 60 DDS, T6-R3



Anexo 14: 60 DDS, T10-R1



Anexo 15: 60 DDS, T11-R2



Anexo 16: 60 DDS, T12-R2



Anexo 17: Secado de semillas en estufa



Anexo 18: Estufa



Anexo 19: Preparación del sustrato



Anexo 20: Semillas en papel toalla



Anexo 21: Rollos con semillas en envases



Anexo 22: Evaluaciones de germinación

