

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE PAPAS
SILVESTRES (*Solanum spp.*) PARA LA CONSERVACIÓN
EN EL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CIP”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

MARÍA ESPERANZA ORDOÑEZ ROJAS

LIMA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“PROCESAMIENTO DE SEMILLAS DE PAPAS
SILVESTRES (*Solanum spp.*) PARA LA CONSERVACIÓN
EN EL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CIP”**

María Esperanza Ordoñez Rojas

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Federico Alexis Dueñas Dávila
PRESIDENTE

.....
Ing. Mg. Sc. Figueroa Serrudo, Cecilia
ASESORA

.....
Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

.....
Dr. Raúl Humberto Blas Sevillano
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios todopoderoso, por sostenerme en cada una de las etapas de mi vida y ser el capitán de la barca.

A mis padres Edison y Gladys, por su amor y cariño, enseñanzas, sacrificios y por brindarme las oportunidades de crecimiento personal y profesional, forjándome en ser una mejor persona cada día.

A mis hermanos Omar, Gera y Mavi por sus consejos constantes y sus ejemplos a seguir.

A mi esposo Henry por su amor y ejemplo de fortaleza y a mis hijos por ser mi motivación en el corto sendero de la vida.

En memoria a mis queridos papi y mami “Gerardo y Esperanza”, gracias por su amor.

Y a todos aquellos familiares y amigos que disfrutaban sinceramente de mis logros.

Gracias

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Cecilia Figueroa, asesora de las tesis, por la confianza, paciencia, soporte y oportunidades brindadas.

A mis jurados Federico Dueñas, Raúl Blas, Gilberto Rodríguez, por sus comentarios siempre convenientes que enriquecieron este trabajo.

Al Centro Internacional de la Papa por brindarme el espacio y la oportunidad de formar parte del equipo Genebank, por los aprendizajes y las experiencias.

A mis maestros de mi Alma Mater por haber forjado lo mejor en mí, y lograr ser una profesional de calidad, con principios y valores.

A “Teresita”, por su amistad, por estar siempre de la mano, por su aliento y apoyo a lo largo de la carrera.

Al Sr. Mario Jaulis Cancho, bibliotecario de la BAN, por su humildad, servicio y sobre todo su gran amistad, descanse en paz buen amigo.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1	La papa silvestre	4
3.2	Factores genéticos de la papa	7
3.2.1	Poliploidía.....	7
3.2.2	Autoincompatibilidad (AI)	7
3.2.3	Esterilidad masculina.....	7
3.2.4	Diferenciación genómica	7
3.2.5	Producción de polen y/u oósfemas $2n$	7
3.3	Distribución geográfica	10
3.4	Los ecosistemas de las papas silvestres	11
3.5	Biología floral de algunas especies silvestres de papa	20
3.5.1	<i>Solanum acaule</i> Bitt.	20
3.5.2	<i>Solanum albicans</i>	21
3.5.3	<i>Solanum bukasovii</i> Juz.	23
3.5.4	<i>Solanum candolleanum</i> Berth.	24
3.6	Semilla sexual de la papa	28
3.6.1	Manejo pos cosecha de la semilla sexual de papa.....	30
3.6.2	Dormancia en la semilla de papa.....	30
3.6.3	Regeneración de la semilla de papa silvestre	31
3.6.4	Viabilidad de semillas en papa silvestre	32

3.6.5	Semillas ortodoxas	33
3.7	Almacenamiento de las semillas	33
3.8	Procesamiento de las semillas	34
3.8.1	Etapas de procesamiento para cultivos en general	35
3.9	Banco de Germoplasma.....	40
3.9.1	Bancos de germoplasma en el mundo SGSV Svalbard.....	41
3.10	Conservación del germoplasma y su importancia.....	42
3.11	Colección base.....	43
3.12	Colección activa	43
3.13	Tipos de instalaciones para el almacenamiento	44
3.13.1	Almacenamiento en cuarto frío	45
3.13.2	Congeladores horizontales o verticales	46
IV.	DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA LABORAL	47
4.1	Ubicación de la experiencia laboral.....	47
4.2	Centro Internacional de la Papa (CIP).....	47
4.3	Tiempo de labores	48
4.4	Funciones desarrolladas en el área	48
4.5	Procesamiento de semillas.....	48
4.6	Pasos para el procesamiento de semilla de papas silvestres.....	48
4.6.1	Recepción y caracterización	48
4.6.2	Almacenamiento de bayas	51
4.6.3	Extracción de las semillas.....	52
4.6.4	Pre secado	56
4.6.5	Limpieza	57
4.6.6	Cuantificación.....	61
4.6.7	Secado.....	62

4.6.8	Almacenado	65
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
VI.	BIBLIOGRAFÍA	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ecosistemas donde se encuentran especies de papa silvestre en Perú	11
Tabla 2: Especies de papa silvestre para la región Cusco.	15
Tabla 3: Especies silvestres de papa (Solanum sect. Petota) y tres parientes externos en la sect. Etuberosum, su código estándar de tres letras.....	16
Tabla 4: Características a considerar en los lotes de semillas	36
Tabla 5: Ventajas principales de la pre limpieza.....	37
Tabla 6: Propiedades físicas a considerar para la separación.....	37
Tabla 7: Requerimientos básicos para el tratamiento eficaz del tratamiento de semillas ..	38
Tabla 8: Centros GCIAI (CGIAR) que administran colecciones de germoplasma en nombre de la comunidad mundial	40
Tabla 9 : Materiales para recepción y caracterización	50
Tabla 10: Materiales para almacenamiento de bayas	51
Tabla 11: Materiales para la extracción de semillas.....	53
Tabla 12: Materiales para el pre secado	56
Tabla 13: Materiales para limpieza manual.....	58
Tabla 14: Materiales para limpieza mecánica	60
Tabla 15: Materiales para cuantificación.....	61
Tabla 16: Materiales para el secado	63
Tabla 17: Materiales para el almacenamiento	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Solanum hypacrarthrum</i> Bitte.....	6
Figura 2: Wild potato plant forms. A: <i>Solanum hougasii</i> ; B: <i>S. agrimonifolium</i> ; C: <i>S. morelliforme</i> ; D: <i>S. infundibuliforme</i>	6
Figura 3 Cinco grupos de cruzabilidad en papas cultivadas y silvestres con base en los grupos EBN y la compatibilidad sexual. AC = Autocompatible; AI = Autoincompatible	9
Figura 4: Distribución geográfica de papa silvestre	10
Figura 5: Hábitats de papa silvestre. A: bosque caducifolio seco en Jalisco, México (2080 m); B: páramo en el estado de Mérida, Venezuela (3050 m); C: orilla del mar en el Archipiélago de Chonos, Región Aisén, Chile; D: tierras altas húmedas en el departamento de La Paz, Bolivia (3900 m).....	14
Figura 6: <i>Solanum acaule</i> (Solanaceae) (Giorgetta.Ch)	21
Figura 7: <i>S. albicans</i>	22
Figura 8: <i>S. bukasovii</i>	24
Figura 9: <i>S. candolleanum</i>	25
Figura 10: <i>S. raphanifolium</i>	26
Figura 11: Algunas especies de papa silvestre. 1. <i>S. brevicaula</i> (<i>S. alandiave</i>) 2. <i>S. acaule</i> 3. <i>S. acroglossum</i> 4. <i>S. cajamarquense</i> 5. <i>S. albicans</i> (<i>S. acaule</i> subsp <i>palmirensis</i>) 6. <i>S. chacoense</i> 7. <i>S. huancabambense</i> 8. <i>S. laxissimum</i> 9. <i>S. lignicaule</i> 10. <i>S. medians</i> 11. <i>S. stenotomum</i> subsp <i>stenotomum</i> 12. <i>S. ajanhuiri</i>	27
Figura 12: Fruto tipo baya de la papa. A) En desarrollo, B) Corte mostrando la placentación axilar	29
Figura 13: Bayas de papa silvestre. A: <i>Solanum verrucosum</i> ; B: <i>S. andreanum</i> ; C: <i>S. schenckii</i> ; D: <i>S. moscopanum</i>	29
Figura 14: Almacenamiento de semillas	33
Figura 15: Diagrama de flujo de operaciones del acondicionamiento de semillas	35
Figura 16: Bancos de germoplasma en el mundo - CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación en Agricultura Internacional) - Segundo informe sobre el estado de los recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo.....	41
Figura 17: Bancos de Germoplasma en el Mundo SGSV Svalbard.....	42
Figura 18: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira; Bioversity International; Cali, CO, 2007.	43

Figura 19: Banco de semillas del BGSNB-CIEF; sistema de almacenamiento de semillas dentro de la colección activa (izquierda), congelador y estanterías para el almacenamiento de los lotes conservados en la colección base (medio y derecha).	44
Figura 20: Almacenamiento en cuarto de frío	45
Figura 21: Laboratorio CULTIVE – congelador vertical (-18°C), Nevera (4°C) Banco de Germoplasma de la Universidad Rey Juan Carlos	46
Figura 22: Verificación del material enviado de las estaciones Ing. A. Salas (curador)....	49
Figura 23: Verificación del grado de madurez de las bayas.....	50
Figura 24: Comparación de bayas maduras e inmaduras	51
Figura 25: Cámara de frío	52
Figura 26: Materiales para la extracción de semillas	53
Figura 27: Extracción de semillas de papas silvestres	54
Figura 28: Separación de la semilla con agua.	55
Figura 29: Material en recipiente de plástico listo para la limpieza.....	57
Figura 30: Materiales para limpieza manual de semillas de papas silvestres	58
Figura 31: Limpiador de semillas.....	61
Figura 32: Peso total de un lote de semillas en la balanza digital electrónica de 4 dígitos	62
Figura 33: Cámara de secado con sobre de semillas de papa silvestre	64
Figura 34: Sellado de sobres con semillas de papa silvestre	64

PRESENTACIÓN

Este documento se basa en la experiencia llevada a cabo en el banco de germoplasma del Centro Internacional de la Papa (CIP), principalmente en el procesamiento de semillas de papas silvestres en el laboratorio de semillas de la misma institución.

Asimismo, se describen las principales actividades propias dentro del ejercicio de mi profesión, enfocadas a la conservación de semillas a largo plazo. La experiencia se llevó a cabo durante el periodo del 2017 al 2021. En estos años tuve las funciones de apoyar en actividades para la conservación de semillas de papas silvestres en el banco de germoplasma, tales como, procesamiento de semillas, monitoreo del desarrollo de pruebas de viabilidad, regeneración de material para la conservación en el banco de germoplasma, conducción de experimentos siguiendo las instrucciones del supervisor y coordinación con los colaboradores, siguiendo medidas de salud y seguridad, además del registro y monitoreo de los resultados en base de datos.

En la parte de campo tuve la función del control cultural y fitosanitario en el manejo de plantas de papas silvestres en cobertores (lavado, desinfección según protocolos establecidos, apoyo en las labores agronómicas, preparación de sustrato para trasplante de plántulas, preparación de herbarios, etc.) Cada actividad siempre se realizaba previa coordinación con el supervisor inmediato y trabajando en equipo con los técnicos y auxiliares. Dichas actividades complementaron mis conocimientos adquiridos en la universidad principalmente en procesamiento de semillas y que hoy en día es un tema muy importante para el campo de los recursos fitogenéticos, pues el comportamiento fisiológico en almacenamiento de las semillas de una especie y su longevidad determinan cómo conservarlas para su posterior uso adecuado.

I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de las semillas es una de las etapas más cruciales para obtener semillas de calidad, la máxima calidad de un lote depende directamente de las condiciones de producción en el campo.

El procesamiento comprende todas las operaciones en las cuales, la semilla es sometida desde su recepción hasta el embolsado y distribución. Para garantizar la viabilidad e integridad genética en el banco de germoplasma de papas silvestre del CIP se contemplan planes de acción desde la adquisición, caracterización, duplicados de seguridad, almacenamiento a largo y mediano plazo, conservación *in vitro*, ensayos de germinación, regeneración, procesamiento de semillas y distribución.

Hace 10000 u 8000 años, cuando se inició la agricultura, en la “chacra primitiva” se sembraron diferentes especies de papas silvestres que se cruzaban entre ellas (Egúsquiza, 2000).

La papa es una planta alimenticia que ha estado vinculada con las culturas más remotas de nuestra historia. Los primeros habitantes del Perú (cazadores, recolectores, nómades) colectaron tubérculos de especies silvestres que se encuentran ampliamente distribuidas en nuestro territorio. En el territorio peruano se encuentra la mayor cantidad de especies silvestres de papa conocida en el mundo (Egúsquiza, 2000).

Las semillas que se almacenan en los bancos de germoplasma son un recurso vital e irremplazable, una herencia que se debe conservar para proveer opciones a la agricultura en el futuro, en un mundo que afronta el cambio climático y otros desafíos.

Las operaciones básicas de un banco de germoplasma de semillas incluyen la colecta, el procesamiento, la conservación, la regeneración y la distribución del germoplasma, podrían variar de alguna manera. La calidad y la sostenibilidad de cualquier esfuerzo de conservación de recursos genéticos depende de cómo se procesan y conservan las semillas. Manejar las semillas con procedimientos inapropiados acelera el deterioro y hace más costosa la conservación.

Las semillas de especies de papas silvestres son semillas ortodoxas, es decir, que resisten la desecación a contenidos de humedad bajos y el almacenamiento a temperaturas muy bajas, por lo tanto, este comportamiento fisiológico nos permite esta forma de almacenamiento a temperaturas muy bajas para su conservación.

Los bancos de germoplasma son depósitos de recursos fitogenéticos que proporcionan la materia prima para el mejoramiento de los cultivos. Estos recursos cumplen una función vital en el desarrollo sostenible de la agricultura en tanto ayudan a aumentar la producción de alimentos y a combatir el hambre y la pobreza.

Las técnicas para conservar semillas ortodoxas se han venido perfeccionando durante varias décadas e incluyen el secado de las semillas hasta lograr un contenido de humedad bajo (3 – 7% de peso fresco, dependiendo de la especie) y el almacenamiento en recipientes herméticos, a bajas temperaturas, preferiblemente a – 18°C o menos (FAO, IPGRI, 1994).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar la experiencia profesional sobre procesamiento de semillas de papas silvestres (*Solanum* spp.) para la conservación en el banco de germoplasma del CIP a partir de la extracción de semillas hasta su conservación a largo plazo.

2.2 Objetivos específicos

Describir y evaluar la eficacia y eficiencia de la extracción manual de semillas de papas silvestres en el procesamiento de semillas.

Describir y evaluar la eficacia y eficiencia del pre secado de semillas de papas silvestres en el procesamiento de semillas.

Describir y evaluar la eficacia y eficiencia de la limpieza de semillas de papas silvestres en el procesamiento de semillas.

Describir y evaluar la eficacia y eficiencia de la cuantificación de semillas de papas silvestres en el procesamiento de semillas.

Describir y evaluar la eficacia y eficiencia en el secado de semillas de papas silvestres en el procesamiento de semillas.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 La papa silvestre

La papa y sus parientes silvestres *Solanum* L. sect. Petota Dumort. se distribuyen a lo largo del continente americano, desde el suroeste de Estados Unidos hasta Chile, Argentina y Uruguay (Hijmans y Spooner, 2001).

La papa se considera como uno de vegetales más productivos que se cultiva en el mundo, y provee la mayor fuente de nutrición e ingreso para muchas sociedades (Spooner y Hetterscheid, 2001).

Actualmente, la papa cultivada es conocida colectivamente bajo el nombre de *S. tuberosum* L. posee un rico pool de genes, constituido por 190 especies silvestres que forman tubérculos (Spooner y Salas, 2006).

La papa es el único grupo que posee poliploides, aproximadamente 70% de las especies son diploides, la mayoría de los restantes son tetraploides, con un número reducido de triploides y pentaploides (Spooner et al., 2005a; Hijmans et al., 2007; Spooner et al., 2008).

Representan una reserva de germoplasma amplia y única, parcialmente explorada y poco usada en el mejoramiento genético, a pesar de que muchas de estas especies se pueden utilizar directamente en cruzamientos compatibles con papas cultivadas o a través del uso de gametos no reducidos $2n$ (Estrada, 2000; Spooner y Salas, 2006).

La papa es genética y taxonómicamente una planta cultivada compleja, donde se presenta una serie de ploidias que fluctúan desde especies diploides con 24 cromosomas, hasta especies hexaploides con 72 cromosomas.

Esta variabilidad en número de cromosomas, tanto en las especies cultivadas como en las especies silvestres, ha sido un factor limitante en la utilización de material genético promisorio en programas de mejoramiento convencional. Las especies diploides cultivadas, como la papa amarilla del Mantaro y las silvestres, autoincompatibles; es decir, que rechazan su propio polen, y sólo aceptan y fecundan el polen de un clon extraño o genéticamente distante. Esta auto

incompatibilidad se llama gametofítica, y es producto de la evolución de la papa hace miles de años para evitar la depresión híbrida por efecto de la endocria. Las especies tetraploides son en cambio autocompatibles y fértiles a este grupo pertenecen la mayoría de las papas comerciales como Ccompis, Revolución, Peruanita y Tacna. Las papas triploides y pentaploides son estériles.

Según Hawkes (1990), el número de especies silvestres de papa es 228 y el de especies cultivadas 7, dando un total de 235 para la sección Petota y comprendiendo especies diploides hasta hexaploides.

En el Perú, las papas silvestres se encuentran en los ecosistemas montañosos que se caracterizan por poseer una gran diversidad de espacios, donde se manifiesta una gran diversidad de formas de vida.

Las especies vegetales silvestres son fuente de diversidad genética que pueden ser utilizadas en el mejoramiento genético, solución de problemas agronómicos y de producción como incorporación de resistencia a plagas y enfermedades, o adaptación al cambio climático. En papa, existe una tremenda diversidad genética en los parientes silvestres de papa, donde se han encontrado un pool de genes de resistencia para diferentes enfermedades de importancia económica para el cultivo (Jansky, 2010).

Se ha reportado que existe resistencia en 12 especies de papa silvestre, a tizón tardío (Hawkes, 1990), en 42 a tizón temprano y en 80 a *Verticillium* sp. (Bamberg et al., 1994).

Aun cuando existe un gran potencial en las especies silvestres, están pobremente representadas en los bancos de germoplasma y se necesita un esfuerzo para mejorar la conservación y disponibilidad de las especies silvestres para ser usadas en el fitomejoramiento (Castañeda et al., 2016).



Figura 1: *Solanum hypacrarthrum* Bitte.
Fuente: Salas/CIP 2008



Figura 2: Wild potato plant forms. A: *Solanum hougasii*; B: *S. agrimonifolium*; C: *S. morelliforme*; D: *S. infundibuliforme*

Fuente: Spooner. 2002

3.2 Factores genéticos de la papa

3.2.1 Poliploidía

Las especies poliploides florecen menos que las diploides y además las triploides y pentaploides son estériles, aunque pueden producir gametos no reducidos ($2n$) en baja frecuencia (Estrada, 1999; Camadro & Espinillo, 1999).

3.2.2 Autoincompatibilidad (AI)

Donde la interacción entre el tubo polínico y el estilo está determinada por el genotipo del polen (gameto) y la inhibición del crecimiento del tubo polínico ocurre en el estilo. La papa presenta un locus S multialélico de autoincompatibilidad gametofítica que determina que las especies diploides sean alógamas obligadas, y que los poliploides puedan ser alógamas, pero también autógamas.

3.2.3 Esterilidad masculina

Es un fenómeno común en muchas variedades comerciales de papas cultivadas tetraploides. En contraste, la esterilidad femenina no es tan frecuente. Es la consecuencia de las interacciones entre el núcleo y el citoplasma: el gen dominante *Ms* gen interactúa con el citoplasma de *S. tuberosum* subsp. *tuberosum* para causar esterilidad masculina, y el gen *Rt* gene dominante restablece la fertilidad (Iwanaga et al., 1991; Watanabe, 2015).

3.2.4 Diferenciación genómica

Todas las especies de papa tienen un genoma común A, aunque se diferencian en genomas homeólogos (i.e., parcialmente homólogos) B, C, D y E.

3.2.5 Producción de polen y/u oósfemas $2n$

La formación de gametos $2n$ está ampliamente difundida entre las papas diploides. Está controlada por genes recesivos de herencia simple que dan lugar a husos paralelos (*ps*) y citocinesis prematura (*pc*) en la microsporogénesis. Estos, a su vez, están asociados a los fenómenos de la meiosis conocidos como primera y segunda división de restitución (FDR y SDR por sus siglas en inglés), que producen gametos con heterocigocidad diferenciada según la posición del entrecruzamiento (crossing over) con respecto al centrómero (Watanabe, 2015).

3.2.6 Producción de haploides (esporofitos con el número cromosómico del gametofito)

Ciertos clones de *S. phureja*, empleados como progenitores masculinos en cruzamientos con *S. tuberosum* subsp. *tuberosum*, pueden dar lugar a individuos haploides ($2n=2x=24$ en este caso). Para fines de fitomejoramiento, también puede inducirse su formación con partenogénesis pseudogamética usando polinizadores especiales (Watanabe, 2015).

3.2.7 Número de Balance del Endospermo (Endosperm Balance Number – EBN)

La falla del endosperma es la razón principal de la falla en cruzamientos intra e interespecíficos. La hipótesis del EBN es un concepto unificador para predecir la función del endosperma en cruces intraespecíficos, interploides e interespecíficos. En el sistema EBN, cada especie tiene una «ploidía efectiva» (EBN), que debe estar en una relación materno/paterna de 2:1 en el endosperma para que los cruzamientos tengan éxito. El conocimiento de EBN es muy útil en la transferencia de genes de germoplasma exótico y en el desarrollo de nuevos esquemas de mejoramiento en papa (Ortíz & Ehlenfeldt, 1992).

Se producirán semillas viables a partir de cruzamientos entre plantas con valores de EBN coincidentes, siempre que no existan otras barreras de hibridación. Las combinaciones de ploidía y EBN en las papas incluyen 6x (4EBN), 4x (4EBN), 4x (2EBN), 2x (2EBN) y 2x (1EBN). Si dos especies difieren en EBN por un factor de dos, duplicar el genoma de la especie con el número cromosómico más bajo duplicará su valor de EBN e incrementará la probabilidad de éxito de la hibridación. La duplicación se puede lograr a través de la duplicación del genoma somático con algún tratamiento o seleccionando individuos que producen gametos $2n$ (Spooner et al., 2014).

La Figura 3 muestra la cruzabilidad en papa con base en el EBN y la cruzabilidad compatibilidad sexual. Las flechas de doble punta conectan los grupos EBN, sea que se crucen duplicando el número de cromosomas o a través de gametos $2n$. Dentro de los grupos 1EBN y 2EBN, las especies autocompatibles pueden separarse de las autoincompatibles. Todas las especies de 4EBN son autocompatibles. En los niveles 1EBN y 2EBN, los cruces autocompatibles (femeninos) por los autoincompatibles (masculinos) son típicamente exitosos, mientras que los cruces recíprocos fallan. Por lo tanto, las flechas de una sola cabeza conectan estos grupos. Se espera que la hibridación dentro de cada uno de los cinco grupos sea exitosa, aunque ocasionalmente ocurren fallas. Si bien es menos probable que la

hibridación intergrupar sea exitosa en comparación a la hibridación intragrupal, ninguna barrera es completa.

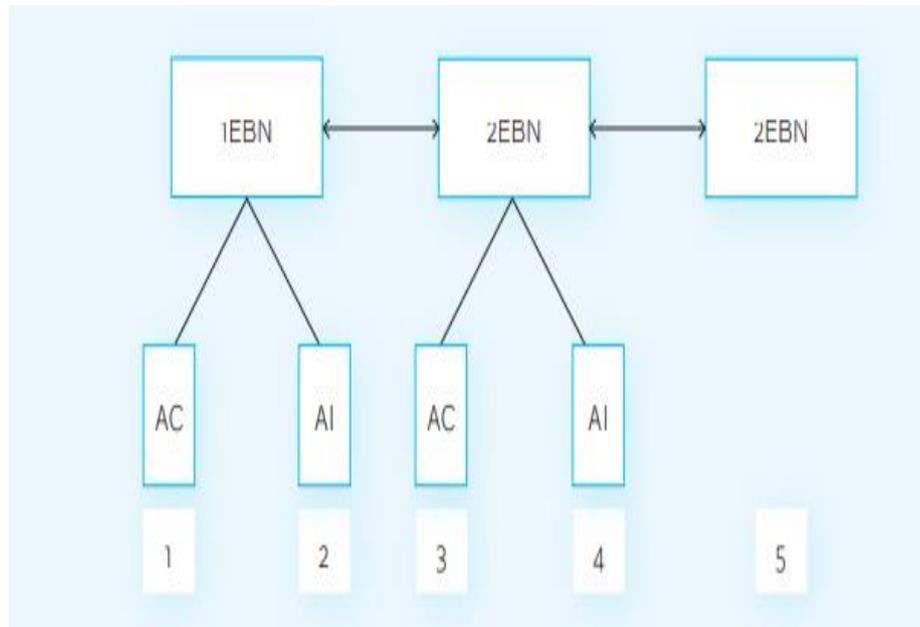


Figura 3 Cinco grupos de cruzabilidad en papas cultivadas y silvestres con base en los grupos EBN y la compatibilidad sexual. AC = Autocompatible; AI = Autoincompatible

Fuente: Spooner et al., 2014

Ventajas de poliploides en el mejoramiento genético:

- Mayor capacidad de adaptación del poliploide.
- Células más grandes conducen a la disminución de la actividad metabólica, por lo tanto, el desarrollo más lento y conlleva a menor transpiración (resistencia a la sequía).
- Disminución de la incompatibilidad polen estilo (se pueden obtener líneas puras)

Desventaja de poliploides en el mejoramiento genético:

- Irregularidad de su meiosis reducción de la fertilidad, lento crecimiento inicial en varias especies.

Las especies silvestres y cultivadas de papa son un desafío para los taxónomos, por la ausencia de una definición clara de las diferencias morfológicas entre algunas especies, la plasticidad fenotípica cuando se siembran en diferentes ambientes, la compatibilidad sexual entre muchas de las especies, el amplio rango en los niveles de ploidía –desde diploides

hasta hexaploides—, la especiación híbrida y la hibridación introgresiva (Spooner et al., 2003c; Spooner et al., 2007).

3.3 Distribución geográfica

La distribución de papas silvestres es amplia, son nativas de 16 países, entre ellos: México, Estados Unidos, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Panamá, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

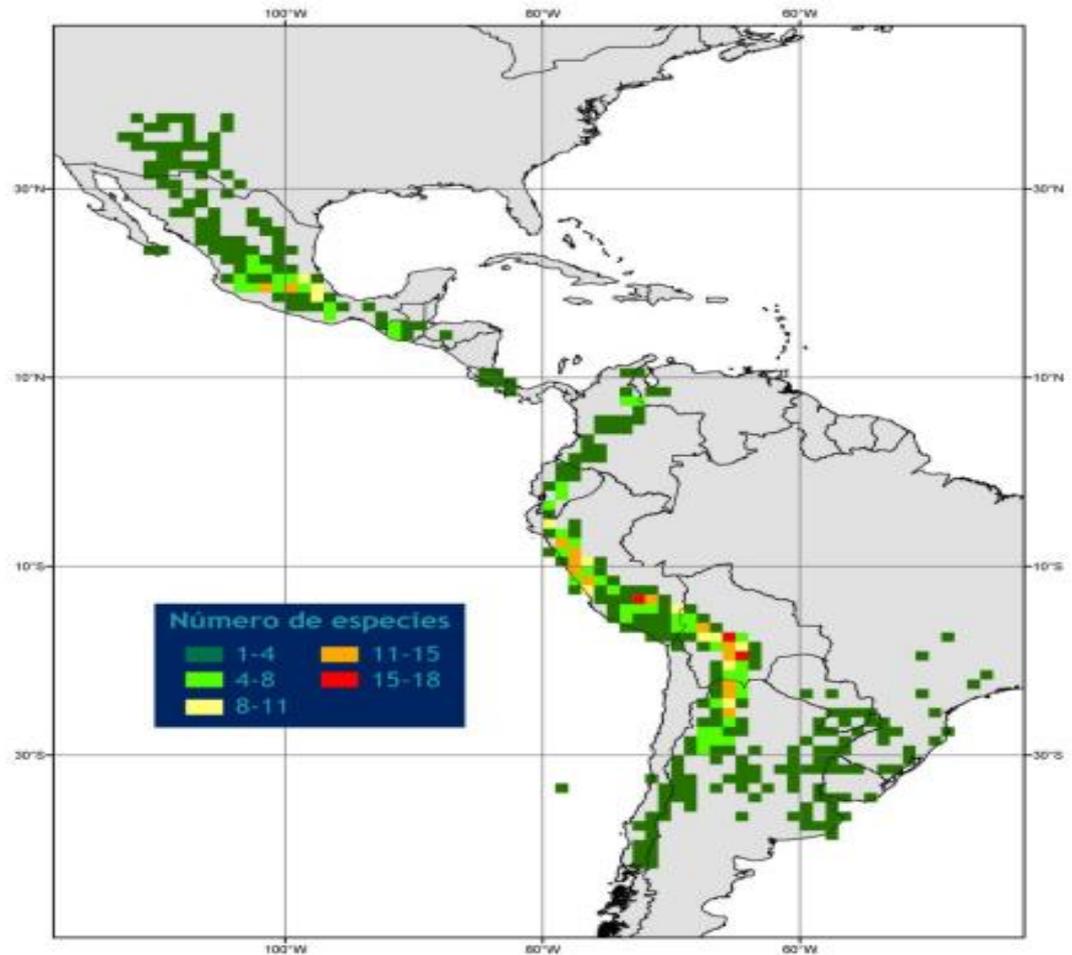


Figura 4: Distribución geográfica de papa silvestre

Fuente: Salas, van Beem, Chavez, 2012

3.4 Los ecosistemas de las papas silvestres

Por ecosistema se entiende un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional. Las papas silvestres se distribuyen en 16 países de América entre 38° de Latitud Norte y 41° de Latitud Sur, donde Argentina, Bolivia, México y Perú concentran el 88% de las especies. La mayoría de ellas son raras y endémicas. El Perú tiene el mayor número de especies (93), seguido de Bolivia (39). La alta riqueza de especies ocurre entre 8° y 20° de Latitud Sur y alrededor de 20° Latitud Norte (norte de Argentina, centro de Bolivia, centro de Ecuador, centro de México y especialmente, el sur y norte-centro de Perú). Típicamente, las papas silvestres se encuentran entre 2000 y 4000 msnm (Hijmans & Spooner, 2001).

En el Perú, las papas silvestres se encuentran en los ecosistemas montañosos que se caracterizan por poseer una gran diversidad de espacios (micro-hábitats), donde se manifiesta una gran diversidad de formas de vida. Se presenta en la Tabla 1 los diferentes ecosistemas que albergan las papas silvestres.

Tabla 1: Ecosistemas donde se encuentran especies de papa silvestre en Perú

Región	Características	Condiciones físicas	Componentes vegetales	Especies de papa silvestre más representativas
Costa o Chala	Faja desértica desde el nivel del mar hasta los 500 msnm, con algunos ríos de flujo irregular, por lo que cuenta con escasa vegetación. Con ocurrencia de un fenómeno de nieblas estacionales que da origen a 70 lomas costeras.	Precipitación promedio de 80 mm, temperatura promedio de 18 °C en la costa sur y 19 °C en costa central.	Gramma salada (<i>Distichis spicata</i>) en el litoral, carrizo (<i>Arundo donax</i>), algarrobo, huarango (<i>Prosopis pallida</i>), faique, espino (<i>Acacia macracantha</i>), y algunas cactáceas (<i>Opuntia</i> , <i>Mila</i> , <i>Haageocereus</i> , <i>Islaya</i>).	<i>S. chancayense</i> y <i>S. neoweberbaueri</i>
Yunga	Yunga marítima: Valles de desierto entre relieves de 500 a 2300 msnm de altura, que bajan hasta el Pacífico desde los declives occidentales de la cordillera andina Yunga fluvial: Valles entre relieves de 500 a 2300 msnm, que bajan	Precipitación estacional (enero a marzo) más frecuente (400-1000 mm) con temperaturas promedio de 20 °C a 27 °C durante el día, con ligera variación durante la noche	Algunas plantas con presencia de órganos de reserva tipo bulbos como gladiolos (<i>Iris</i>) y en zonas de lomas como el amancaes (<i>Hymenocallis</i>) “molle” (<i>Schinus molle</i>), cabuya blanca (<i>Furcraea occidentalis</i>), frutales nativos como guayabo (<i>Psidium guayaba</i>),	<i>S. immite</i> y <i>S. wittmacki</i> .

	a los que descienden hacia el Atlántico.		lúcumo (<i>Pouteria lucuma</i>), guanábana (<i>Annona muricata</i>) y la ciruela de fraile (<i>Bunchosia armeniaca</i>)	
Sierra	Usualmente se encuentra entre 3500 y 4500 msnm	Temperatura promedio 14 °C, precipitación mucho más alta que en la costa entre los meses de octubre y noviembre de 550 a 650 mm, y una humedad relativa de 78%.		
Quechua	Situada sobre ambas vertientes de los Andes, occidental y oriental, entre 2300 y 3500 msnm. Representada por valles y cumbres que son sus divisorias fluviales del Pacífico y el Atlántico. Con un vegetación variada.	Clima templado con notables variaciones de temperatura entre el día y la noche. Precipitación abundante durante le verano y escasa o casi nula durante el periodo seco de la estación invernal, que tiene mayor duración.	“Aliso” (<i>Alnus acuminata</i>), “Quishuar” (<i>Buddleja incana</i>), “chachacomo”, “chacha”, “tasta” (<i>Escallonia resinosa</i>), papaya (<i>Carica</i> sp.), “granadilla” (<i>Passiflora ligularis</i>), tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i>), caigua (<i>Cyclanthera pedata</i>), “chayote”, “calabacilla” (<i>Sechium edule</i>), calabazas (<i>Curcubita</i> sp.), tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) y sobre todo maíz (<i>Zea mays</i>), raíces y tubérculos comestibles: arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>), yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) y en altitudes superiores principalmente la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Variedad de <i>Solanum</i> tuberíferos
Suni o Jalca	Situada también en ambas vertientes andinas, entre los 3500 y 4100 msnm. Varía desde valles angostos y vertientes muy escarpadas hasta relieves suaves o poco ondulados y casi planos, como la meseta altiplánica, pajonales, etc.	Atmósfera clara, fría y seca con marcadas diferencias entre las temperaturas del día y la noche. La temperatura media anual varía entre 7 °C y 10 °C, la máxima hasta 20 °C, en los meses invernales (mayoagosto) y la mínima hasta 1 °C.	Varias especies de plantas herbáceas entre gramíneas y graminoides, papas silvestres con resistencia a bajas temperaturas, arbustos como el “manca paqui” (<i>Mutisia acuminata</i>), taya (<i>Baccharis</i> sp.) y la cantuta o qantu (<i>Cantua buxifolia</i>), árboles como la queñua (<i>Polylepis racemosa</i> , <i>P. incana</i>). Cultivos andinos como el tarwi (<i>Lupinus</i>)	<i>S. acaule</i> , <i>S. bukasovii</i> , <i>S. albicans</i> .

			<p><i>mutabilis</i>), la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>), kañiwa (<i>C. pallidicaule</i>). Especies tuberosas como la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>), olluco (<i>Ullucus tuberosus</i>), la mashua o isaño (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) y, especies cultivadas de papa (<i>Solanum stenolobum</i>, <i>S. goniocalyx</i>, entre otras).</p>	
Puna	Situada entre 4100 y 4800 msnm.	Clima frío, con temperaturas diurnas y nocturnas extremas: sobre cero durante el día y bajo cero durante la noche. Temperatura media superior a 0 °C, con la máxima de 15 °C a 22 °C entre setiembre y abril, y la mínima de -9 °C a -25 °C entre mayo y agosto.		<i>S. acaule</i> , <i>S. bukasovii</i> .
Ceja de selva	Situada en los niveles orientales de la Cordillera de los Andes entre los 1500 y 3600 msnm.	Clima tropical húmedo. La precipitación sobrepasa los 2000 mm entre agosto y abril, siendo escasa el resto del año. Humedad relativa máxima de 90% y temperatura media máxima de 21,5 °C	Bosques arbóreos esparcidos y densos. También habitan especies tuberíferas silvestres	<i>S. santolallae</i> y <i>S. urubambense</i> .
Selva alta	Llamada también ceja de montaña.		Vegetación abundante y variada. En las altitudes más bajas (1000 a 1500 msnm) puede encontrarse una papa cultivada.	<i>S. hygrothermicum</i> .

(Ochoa, 1999).

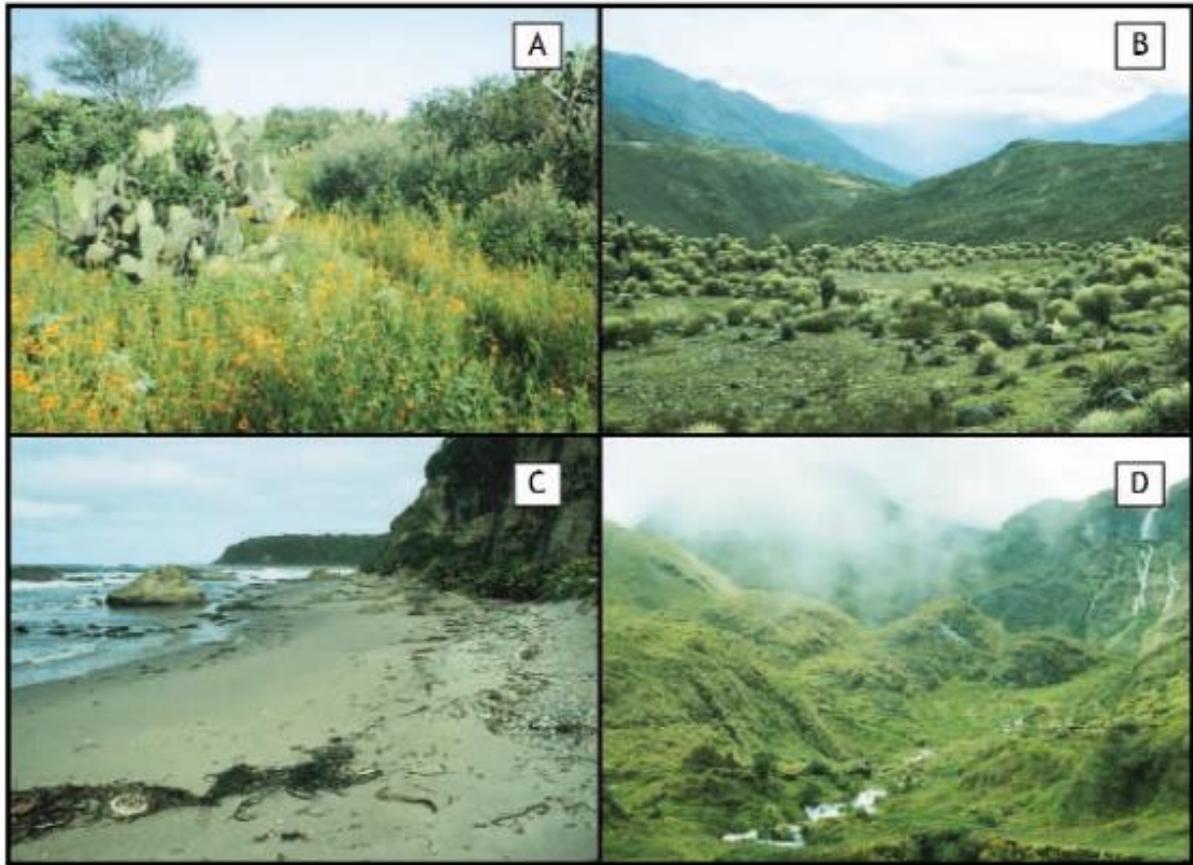


Figura 5: Hábitats de papa silvestre. A: bosque caducifolio seco en Jalisco, México (2080 m); B: páramo en el estado de Mérida, Venezuela (3050 m); C: orilla del mar en el Archipiélago de Chonos, Región Aisén, Chile; D: tierras altas húmedas en el departamento de La Paz, Bolivia (3900 m)

Fuente: Spooner, 2002

Salvaguardar estos recursos genéticos es vital para los esfuerzos de mitigación de los impactos del cambio climático en los cultivos de papas. El banco de germoplasma del CIP guarda 140 de 151 especies conocidas de papa silvestre.

Nuestro país cuenta con 91 de las 191 especies de papas silvestres reconocidas en el mundo.

Así lo señaló el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2017), quien destacó que de esta manera Perú se posicionó como el país con la mayor diversidad genética de papa tanto silvestre como cultivada.

Tabla 2: Especies de papa silvestre para la región Cusco.

Especie	La				
	Calca	Convención	Quispicanchi	Paucartambo	Urubamba
<i>Solanum acaule</i> Bitter	X		X	X	X
<i>Solanum buesii</i> Vargas		X			X
<i>Solanum laxissimum</i> Bitter		X		X	X
<i>Solanum pillahuatense</i> Vargas				X	X
<i>Solanum santolallae</i> Vargas		X		X	X
<i>Solanum urubambae</i> Juz.	X	X		X	X
<i>Solanum urubambae</i> Juz f. chackchabambense Ochoa					X
<i>Solanum urubambae</i> Juz. f. velotinum (Corr.) Ochoa		X			X
<i>Solanum lignicaule</i> Vargas	X				X
<i>Solanum megisracolobum</i> Bitt.	X		X		X
<i>Solanum megisracolobum</i> Bitt. Var. Toralapanum (Cárd. Et Hawkes.) Ochoa.	X				X
<i>Solanum raphanifolium</i> Cárd. Et. Hawk.	X		X	X	X
<i>Solanum bukasovil</i> Juzz	X		X	X	X
<i>Solanum bukasovil</i> Juz. f. multidessectum (Hawkes) Ochoa	X		X		X
<i>Solanum coelestispetalum</i> Vargas		X			X
<i>Solanum incasicum</i> Ochoa					X
<i>Solanum leptophyes</i> Bitt.			X		X
<i>Solanum marinasense</i> Vargas	X	X	X	X	X
<i>Solanum sawyeri</i> Ochoa					X
<i>Solanum sparsipilum</i> (Bitt.) Juz et But.	X		X	X	X
<i>Solanum tarapatanum</i> Ochoa.					X

Fuente: Ochoa, 1999

Tabla 3: Especies silvestres de papa (*Solanum* sect. *Petota*) y tres parientes externos en la sect. *Etuberosum*, su código estándar de tres letras

Nro.	Especie y código estándar
1	<i>Solanum acaule</i> Bitter <i>acl</i>
2	<i>S. achacachense</i> Cárdenas <i>ach</i>
3	<i>S. acroglossum</i> Juz. <i>acg</i>
4	<i>S. acroscopicum</i> Ochoa <i>acs</i>
5	<i>S. agrimonifolium</i> Rydb. <i>agf</i>
6	<i>S. alandiae</i> Cárdenas <i>aln</i>
7	<i>S. albicans</i> (Ochoa) Ochoa <i>alb</i>
8	<i>S. albornozii</i> Correll <i>abz</i>
9	<i>S. amayanum</i> Ochoa <i>amy</i>
10	<i>S. ambosinum</i> Ochoa <i>amb</i>
11	<i>S. anamatophilum</i> Ochoa <i>amp</i>
12	<i>S. ancophilum</i> (Correll) Ochoa <i>acp</i>
13	<i>S. ancoripae</i> Ochoa <i>anp</i>
14	<i>S. andreanum</i> Baker <i>adr</i>
15	<i>S. ×arahuayum</i> Ochoa <i>ara</i>
16	<i>S. aridophilum</i> Ochoa <i>adp</i>
17	<i>S. arnezii</i> Cárdenas <i>arz</i>
18	<i>S. augustii</i> Ochoa <i>agu</i>
19	<i>S. avilesii</i> Hawkes and Hjert. <i>avl</i>
20	<i>S. ayacuchense</i> Ochoa <i>ayc</i>
21	<i>S. aymaraesense</i> Ochoa <i>aym</i>
22	<i>S. berthaultii</i> Hawkes <i>ber</i>
23	<i>S. bill-hookeri</i> Ochoa <i>bhk</i>
24	<i>S. ×blanco-galdosii</i> Ochoa <i>blg</i>
25	<i>S. boliviense</i> Dunal <i>bly</i>
26	<i>S. bombycinum</i> Ochoa <i>bmb</i>
27	<i>S. brachistotrichum</i> (Bitter) Rydb. <i>bst</i>
28	<i>S. brachycarpum</i> Correll <i>bcp</i>
29	<i>S. brevicaule</i> Bitter <i>brc</i>
30	<i>S. ×bruecheri</i> Correll <i>bru</i>
31	<i>S. buesii</i> Vargas <i>bue</i>
32	<i>S. bukasovii</i> Juz. <i>buk</i>
33	<i>S. bulbocastanum</i> Dunal <i>blb</i>
34	<i>S. burkartii</i> Ochoa <i>brk</i>
35	<i>S. burtonii</i> Ochoa <i>brt</i>
36	<i>S. cajamarquense</i> Ochoa <i>cjm</i>
37	<i>S. calacalinum</i> Ochoa <i>cln</i>
38	<i>S. calvescens</i> Bitter <i>clv</i>
39	<i>S. candolleanum</i> P. Berthault <i>cnd</i>
40	<i>S. cantense</i> Ochoa <i>cnt</i>
41	<i>S. cardiophyllum</i> Lindl. <i>cph</i>
42	<i>S. chacoense</i> Bitter <i>chc</i>

43	<i>S. chancayense</i> Ochoa chn
44	<i>S. chilliasense</i> Ochoa chl
45	<i>S. chillonanum</i> Ochoa chi
46	<i>S. chiquidenum</i> Ochoa chq
47	<i>S. chomatophilum</i> Bitter chm
48	<i>S. circaeifolium</i> Bitter crc
49	<i>S. clarum</i> Correll clr
50	<i>S. coelestipetalum</i> Vargas cop
51	<i>S. colombianum</i> Bitter col
52	<i>S. commersonii</i> Dunal cmm
53	<i>S. contumazaense</i> Ochoa ctz
54	<i>S. demissum</i> Lindl. dms
55	<i>S. ×doddsii</i> Correll dds
56	<i>S. dolichocremastrum</i> Bitter dcm
57	<i>S. donachui</i> (Ochoa) Ochoa dnc
58	<i>S. ×edinense</i> P. Berthault edn
59	<i>S. etuberosum</i> Lindl. etb
60	<i>S. fendleri</i> A. Gray fen
61	<i>S. fernandezianum</i> Phil. frn
62	<i>S. flahaultii</i> Bitter flh
63	<i>S. flavoviridens</i> Ochoa flv
64	<i>S. gandarillasii</i> Cárdenas gnd
65	<i>S. garcia-barrigae</i> Ochoa gab
66	<i>S. gracilifrons</i> Bitter grc
67	<i>S. guerreroense</i> Correll grr
68	<i>S. guzmanguense</i> Whalen and Sagást. gzm
69	<i>S. hastiforme</i> Correll hsf
70	<i>S. hintonii</i> Correll hnt
71	<i>S. hjertingii</i> Hawkes hjt
72	<i>S. hoopesii</i> Hawkes and K.A. Okada hps
73	<i>S. hougasii</i> Correll hou
74	<i>S. huancabambense</i> Ochoa hcb
75	<i>S. huancavelicae</i> Ochoa hcv
76	<i>S. huarochiriense</i> Ochoa hro
77	<i>S. humectophilum</i> Ochoa hmp
78	<i>S. hypacrarthrum</i> Bitter hcr
79	<i>S. immite</i> Dunal imt
80	<i>S. incahuasinum</i> Ochoa inh
81	<i>S. incamayoense</i> K.A. Okada and A.M. Clausen inm
82	<i>S. incasicum</i> Ochoa ins
83	<i>S. ×indunii</i> K.A. Okada and A.M. Clausen ind
84	<i>S. infundibuliforme</i> Phil. ifd
85	<i>S. ingifolium</i> Ochoa igf
86	<i>S. iopetalum</i> (Bitter) Hawkes iop
87	<i>S. irosinum</i> Ochoa irs
88	<i>S. jaenense</i> Ochoa jnn

89	<i>S. jalcae</i> Ochoa jlc
90	<i>S. jamesii</i> Torr. jam
91	<i>S. kurtzianum</i> Bitter and Wittm. ktz
92	<i>S. laxissimum</i> Bitter lxs
93	<i>S. leptophyes</i> Bitter lph
94	<i>S. leptosepalum</i> Correll lps
95	<i>S. lesteri</i> Hawkes and Hjert. les
96	<i>S. lignicaule</i> Vargas lgl
97	<i>S. limbaniense</i> Ochoa lmb
98	<i>S. ×litusinum</i> Ochoa lit
99	<i>S. lobbianum</i> Bitter lbb
100	<i>S. longiconicum</i> Bitter lgc
101	<i>S. longiusculus</i> Ochoa lgs
102	<i>S. lopez-camarenae</i> Ochoa lpc
103	<i>S. macropilosum</i> Correll mcp
104	<i>S. maglia</i> Schltdl. mag
105	<i>S. marinasense</i> Vargas mrn
106	<i>S. matehualae</i> Hjert. and T.R. Tarn mat
107	<i>S. medians</i> Bitter med
108	<i>S. megistacrolobum</i> Bitter mga
109	<i>S. ×michoacanum</i> (Bitter) Rydb. mch
110	<i>S. microdontum</i> Bitter mcd
111	<i>S. minutifoliolum</i> Correll min
112	<i>S. mochiquense</i> Ochoa mcq
113	<i>S. morelliforme</i> Bitter and G. Muench mrl
114	<i>S. moscopanum</i> Hawkes msp
115	<i>S. multiinterruptum</i> Bitter mtp
116	<i>S. nayaritense</i> (Bitter) Rydb. nyr
117	<i>S. nemorosum</i> Ochoa nmr
118	<i>S. neocardenasii</i> Hawkes and Hjert. ncd
119	<i>S. neorossii</i> Hawkes and Hjert. nrs
120	<i>S. neovalenzuelae</i> L. López nvz
121	<i>S. neovargasii</i> Ochoa nvg
122	<i>S. neovavilovii</i> Ochoa nvv
123	<i>S. ×neoweberbaueri</i> Wittm. nwb
124	<i>S. nubicola</i> Ochoa nub
125	<i>S. okadae</i> Hawkes and Hjert. oka
126	<i>S. olmosense</i> Ochoa olm
127	<i>S. oplocense</i> Hawkes opl
128	<i>S. orocense</i> Ochoa oro
129	<i>S. orophilum</i> Correll orp
130	<i>S. ortegae</i> Ochoa ort
131	<i>S. otites</i> Dunal oti
132	<i>S. oxycarpum</i> Schiede oxc
133	<i>S. palustre</i> Poepp. pls
134	<i>S. pampasense</i> Hawkes pam

135	<i>S. pamplonense</i> L. López ppl
136	<i>S. papita</i> Rydb. pta
137	<i>S. paucijugum</i> Bitter pcj
138	<i>S. paucisectum</i> Ochoa pcs
139	<i>S. peloquinianum</i> Ochoa plq
140	<i>S. pillahuatense</i> Vargas pll
141	<i>S. pinnatisectum</i> Dunal pnt
142	<i>S. piurae</i> Bitter pur
143	<i>S. polyadenium</i> Greenm. pld
144	<i>S. puchupuchense</i> Ochoa pch
145	<i>S. raphanifolium</i> Cárdenas and Hawkes rap
146	<i>S. raquialatum</i> Ochoa raq
147	<i>S. ×rechei</i> Hawkes and Hjert. rch
148	<i>S. regularifolium</i> Correll rgf
149	<i>S. rhomboideilanceolatum</i> Ochoa rhl
150	<i>S. ×ruiz-lealii</i> Brücher rzl
151	<i>S. salasianum</i> Ochoa sls
152	<i>S. ×sambucinum</i> Rydb. smb
153	<i>S. sanctae-rosae</i> Hawkes sct
154	<i>S. sandemanii</i> Hawkes snd
155	<i>S. santolallae</i> Vargas san
156	<i>S. sarasarae</i> Ochoa srs
157	<i>S. sawyeri</i> Ochoa swy
158	<i>S. saxatilis</i> Ochoa sax
159	<i>S. scabrifolium</i> Ochoa scb
160	<i>S. schenckii</i> Bitter snk
161	<i>S. ×semidemissum</i> Juz. sem
162	<i>S. ×setulosistylum</i> Bitter stil
163	<i>S. simplicissimum</i> Ochoa smp
164	<i>S. soestii</i> Hawkes and Hjert. sst
165	<i>S. sogarandinum</i> Ochoa sgr
166	<i>S. solisii</i> Hawkes sol
167	<i>S. sparsipilum</i> (Bitter) Juz. and Bukasov spl
168	<i>S. spgazzinii</i> Bitter spg
169	<i>S. stenophyllidium</i> Bitter sph
170	<i>S. stoloniferum</i> Schltdl. and Bouchet sto
171	<i>S. subpanduratum</i> Ochoa sup
172	<i>S. ×sucrense</i> Hawkes scr
173	<i>S. sucubunense</i> Ochoa suc
174	<i>S. tacnaense</i> Ochoa tcn
175	<i>S. tapojense</i> Ochoa tpj
176	<i>S. tarapatanum</i> Ochoa trp
177	<i>S. tarijense</i> Hawkes tar
178	<i>S. tarnii</i> Hawkes and Hjert. trn
179	<i>S. taulisense</i> Ochoa tau
180	<i>S. trifidum</i> Correll trf

181	<i>S. trinitense</i> Ochoa trt
182	<i>S. tundalomense</i> Ochoa tnd
183	<i>S. tuquerrense</i> Hawkes tuq
184	<i>S. ugentii</i> Hawkes and K.A. Okada ugt
185	<i>S. urubambae</i> Juz. uru
186	<i>S. ×vallis-mexici</i> Juz. vll
187	<i>S. velardei</i> Ochoa vlr
188	<i>S. venturii</i> Hawkes and Hjert. vnt
189	<i>S. vernei</i> Bitter and Wittm. vrn
190	<i>S. verrucosum</i> Schltdl. ver
191	<i>S. vidaurrei</i> Cárdenas vid
192	<i>S. ×viirsoii</i> K.A. Okada and A.M. Clausen vrs
193	<i>S. violaceimarmoratum</i> Bitter vio
194	<i>S. virgultorum</i> (Bitter) Cárdenas and Hawkes vrg
195	<i>S. wightianum</i> Rydb. wgt
196	<i>S. wittmackii</i> Bitter wtm
197	<i>S. woodsonii</i> Correll wds
198	<i>S. yamobambense</i> Ochoa ymb
199	<i>S. yungasense</i> Hawkes yun

Fuente: Atlas of Wild Potatoes, 2002

3.5 Biología floral de algunas especies silvestres de papa

3.5.1 *Solanum acaule* Bitt.

Esta especie tiene una distribución geográfica extensa, que va desde el norte del Perú hasta el noroeste de la Argentina. Habita en ambientes variados de la puna comprendidos entre la Cordillera Oriental y el Altiplano seco, específicamente en pajonales y humedales altoandinos, bosques de pre-puna, bosques de puna de *Polylepis* ssp., matorrales y herbazales. Se la encuentra en campos abiertos, entre rocas, cercos de piedras, bordes de senderos y cerca de corrales de ganado y de campos cultivados.

S. acaule es resistente a hongos como tizón tardío (*Phytophthora infestans*), verruga (*Synchytrium endobioticum*), roña (*Spongospora subterranea*), tizón temprano (*Alternaria solani*), marchitez (*Verticillium* sp.). Bacterias: pudrición blanda (*Ralstonia solanacearum*) Nematodos: nematodo del quiste (*Globodera* spp.), nematodo del nódulo (*Meloidogyne* spp.), nematodo del tallo (*Ditylenchus* spp.). Insectos: escarabajos (*Leptinotarsa* sp.),

pulguilla (*Epitrix* sp.), gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* sp.). Virus: PVX, PVY, PLRV, PSTV. Factores abióticos: Helada, temperaturas altas, suelos salinos.

Solanum acaule presenta plantas pequeñas, formando rosetas de 15 a 40 cm de diámetro, generalmente extendidas al nivel del suelo, casi sin tallos o con tallos extremadamente cortos. Tubérculos pequeños, de 1.5 a 4 cm de largo, de color blanco y de forma redonda a ovalada. Hojas compuestas, de 5 a 6 pares de folíolos más pequeños que el foliolo terminal. Las flores son redondas y de color variable entre azul violáceo, morado oscuro, violeta, lila y blanco. El fruto color verde oscuro tiene hasta 2 cm de largo y una forma ovoide a casi redonda.



Figura 6: *Solanum acaule* (Solanaceae) (Giorgetta.Ch)

3.5.2 *Solanum albicans*

Ochoa (1999) menciona que es una planta cuyo nombre local es pishgo papa (papa de pájaro) en Cajamarca, Perú; aya papa (papa muerto) en Cariguayrazo, Ecuador. Especie descubierta en el departamento y provincia de Cajamarca, 3450 msnm, 23 mayo 1952.

Solanum albicans es una especie híbrida que es similar en muchos aspectos a *Solanum acaule*, uno de sus supuestos padres. Ochoa (2004) cree que es un cruce de *S. acaule* x *S. sogarandinum*, mientras que Hawkes (1990) cree que el progenitor masculino es *S. cajamarquense*. Toma la forma de una roseta de crecimiento bajo, pero es un poco más grande que *S. acaule*. Los estolones miden alrededor de 10 a 15 pulgadas de largo y, a menudo, actúan como corredores, son muy poco profundos y forman nuevas plantas en los nudos. Los tubérculos son en su mayoría redondos y de 1/2 a 1 pulgada de diámetro. Las

flores son en su mayoría blancas a azul claro, ocasionalmente más oscuras. Las frutas son redondas. El epíteto específico, *albicans*, significa "blanco".

El rango natural de *S. albicans* se extiende desde Ecuador hasta el centro de Perú a elevaciones de aproximadamente 9 840 a 15 600 pies (3000 a 4750 msnm).

S. albicans, una especie de América del Sur, es morfológicamente muy similar a *S. demissum*, una especie hexaploide de América del Norte. Esto es sorprendente, porque las especies de América del Norte y del Sur han estado aisladas unas de otras durante mucho tiempo y han divergido significativamente. Las posibles explicaciones incluyen un ancestro común, una distribución previa más extensa o una evolución convergente (Spooner 1995).

Hijmans (2003) encontró que al menos algunas accesiones de esta especie eran resistentes a las heladas hasta 23 grados F (-5° C).



Figura 7: *S. albicans*

Fuente: <https://www.cultivvariable.com/wp-content/uploads/2018/06/salbicans-flower.jpg>

3.5.3 *Solanum bukasovii* Juz.

Ochoa (1999) señala que es una planta cuyo nombre local es jupay papa (papa del diablo) en Cerro de Pasco; pishu akshu (papa de pájaro) en Jauja; arakk papa (papa silvestre) o atokk papa (papa de zorro) en las provincias de Canchis y Quispicanchis, Cusco. Especie descubierta en el departamento Junín (dpto. Pasco, prov. Pasco), Yanamactacchay (Yanamachay), cerca de la ciudad de Cerro de Pasco. Numero cromosómico $2n=24$. EBN=2. Presenta inflorescencia terminal o subterminal, cimosa-paniculada con 3-17 flores; pedúnculo robusto, cilíndrico, bifurcado, erecto, casi siempre sobresaliendo de la parte superior del tallo, de (4-)10-18 cm de largo por (1.5-)2.0-3.0 mm de diámetro. En la base, pigmentado, densamente pubescente y esparcidamente provisto de pelos glandulares cortos como los pedicelos; pelos pluricelulares, blancos, agudos y finos, pedicelos delgados de 15-30(-40) mm de largo con la articulación alta a unos 4-5(-6) mm debajo de la base del cáliz. Cáliz simétrico o asimétrico de 7-10 mm de largo, pigmentado, pubescente, densamente piloso mezclado con pelos glandulares, lóbulos anchamente elíptico-lanceolados a ovalado-lanceolados, subesquinados, anchamente escariosos en la base, mucronados o abruptamente acuminados, acúmenes cortos de 1.0-1.5 mm de largo. Corola anchamente rotáceo-pentagonal a rotácea, vistosa y usualmente grande, de (2.8)3.5-4.5 (5.0) cm de diámetro. Azul violácea a morada oscura o violeta y muy raras a veces blanca con lóbulos prominentes y suborbiculares, usualmente largos o súbitamente angostados en acúmenes triangulares, agudos, finalmente pulberulentos por fuera como la parte media de los lóbulos. Anteras lanceoladas de 6.0-7.5 mm de largo; filamentos de 1.5-2.5 mm de largo, glabros. Estilo de 10-11 mm de largo, exerto 3-4 mm, densamente papiloso en los dos tercios basales; estigma subgloboso de ápice obtuso y base emarginada, algo más grueso que el ápice del estilo. Fruto anchamente ovoide o subgloboso de 2-3 cm de largo, verde con jaspes verticales morados violáceos. Ochoa (1999) describe los cruzamientos recíprocos de *S. bukasovii* con especies diploides de EBN-2 de la serie tuberosa, hay una extraordinaria compatibilidad con especies que aparentemente tienen alguna afinidad, por lo menos en la forma de las hojas y la forma de los foliolos tales como *S. ambosinum*, *S. coelestispetalum*, *S. incasicum*, *S. orophilum* y *S. sarasarae* con las que se obtiene altos promedios de semillas por baya que oscilan entre 117 y 375. Así mismo, en los cruzamientos con *S. leptophyes*, reportada como la especie más afín de *S. bukasovii*, y con su afín *multidissectum*, se obtiene promedios altos de entre 186 y 150 semillas por baya. En cambio, en los recíprocos con *S. amayanum*, considerada como muy afín de *S. bukasovii*, la compatibilidad ha sido solo parcial, obteniéndose un

promedio también alto, más de 100 semillas por baya, pero solo cuando se usó *S. amayanum* como progenitor masculino.

Los cruzamientos recíprocos de *S. bukasovii* con especies nada afines como *S. huarochiriense*, *S. marinasense*, *S. tapojense* y, lo que es más sorprendente, con las especies cultivadas *S. goniocalyx* y *S. phureja* (*S. stenotomum* en cruzamiento unilateral) fueron altamente compatibles, dando numerosas semillas viables por baya. Igualmente, fueron compatibles, pero con promedios moderados de semillas por baya (entre 40 y 80), los recíprocos son *S. huancabambense*, *S. medians*, *S. multiinterruptum*, *S. sawyeri*, *S. sparsipilum*, *S. tacnaense* (*S. aymaraesense* en cruzamiento unilateral), y excepcionalmente con *S. tarapatanum*.



Figura 8: *S. bukasovii*

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/A-wild-Solanum-species-S-bukasovii-in-its-native-habitat-in-the-Andean-highlands_fig1_43288798

3.5.4 *Solanum candolleianum* Berth.

Ochoa (1999) menciona que es una planta cuyo nombre local es achochil choke, del fruto Mamunco en Sorata, Bolivia. Especie descubierta en el departamento de La Paz, provincia Larecaja, en faldas rocosas del Illampu, Lancha de Cochipata, 3500 msnm.

Solanum candolleanum es una especie de papa silvestre originaria de Perú y Bolivia. Las plantas son bastante grandes, hasta un metro de altura, aunque esta es una especie bastante variable. Los estolones alcanzan casi cinco pies. Los tubérculos son generalmente pequeños, pero pueden estar entre los más grandes de cualquiera de las papas silvestres, alcanzando hasta cinco pulgadas de largo o más bajo cultivo. Flores de azul a violeta. Bayas redondas a ovoides y de tamaño similar a la papa domesticada. Crece en ambientes frescos y húmedos hasta aproximadamente 13 100 pies de altura. El epíteto específico, *candolleanum*, honra al botánico suizo Augustin Pyramus de Candolle.

S. candolleanum y *S. brevicaule* son los miembros centrales del complejo *Solanum brevicaule*, que se extiende desde el norte de Perú hasta Bolivia. *S. candolleanum* es la especie dominante en la parte norte de ese rango y *S. brevicaule* está en la parte sur. Ambas especies son muy variables, pero en general similares entre sí. Ambos comparten muchas similitudes con la papa domesticada y pueden cruzarse con relativa facilidad, al menos a nivel diploide.

Esta especie puede sobrevivir a heladas de hasta 24 grados F (-4,5° C) (Li 1977, como *S. canasense*). Vega (1995) encontró que esta especie es más tolerante a las heladas que la papa domesticada.



Figura 9: *S. candolleanum*

Fuente: <https://www.cultivariable.com/wp-content/uploads/2018/08/scandolleanum-plant.jpg>

3.5.5 *Solanum raphanifolium* Cárđ.

Ochoa (1999) indica que es una planta cuyo nombre local es k`kita papa (papa silvestre) en la provincia y departamento de Cusco; jampatu papa (Papa de sapo) en Urubamba, departamento Cusco; arakk papa, valle del Vilcanota, Cusco. Número cromosómico $2n=24$. EBN=2. Inflorescencia terminal o lateral con 1-8(-12) flores, cimosa a cimoso-paniculada. Pedúnculo de (2.5-) 9.0-14.0 cm de largo, simple o bifurcado, esparcidamente piloso y algo glanduloso; pedicelos de (15-) 25-35 mm de largo, corta y esparcidamente piloso y sub pigmentados como el cáliz, articulación del pedicelo a 5-9 mm debajo de la base del cáliz. Cáliz simétrico o asimétrico, de 6-7 mm de largo; lóbulos ovados a ovado-lanceolados, súbitamente angostados en el ápice; acúmenes cortos y agudos de 1.0-1.5 mm de largo, márgenes membranosos. Corola morada oscura o violeta, rotáceo-pentagonal a pentagonal, de (2.5-) 3.0- 3.5 cm de diámetro con lóbulos no siempre bien delimitados de los acúmenes. Anteras lanceoladas de 5-6 mm de largo, exerto 2-3 mm, esparcidamente papiloso desde la porción media hasta cerca de la base; estigma capitado. Fruto de 1.5-2.0 cm de largo, redondo a subovoide, verde claro puro o a veces moteado de pequeños puntos blancos.



Figura 10: *S. raphanifolium*

Fuente: <https://www.cultivvariable.com/wp-content/uploads/2018/07/sraphanifolium-plant-3.jpg>



Figura 11: Algunas especies de papa silvestre. 1. *S.brevicaule* (*S.alandiave*) | 2. *S. acaule* | 3. *S. acroglossum* | 4. *S. cajamarquense* | 5. *S. albicans* (*S.acaule* subsp *palmirensis*) | 6. *S. chacoense* | 7. *S.huancabambense* | 8. *S. laxissimum* | 9. *S. lignicaule* | 10. *S. medians* | 11. *S. stenotomum* subsp *stenotomum* | 12. *S. ajanhuiri*.

3.6 Semilla sexual de la papa

La semilla sexual o semilla botánica es la que se origina por la unión de gametos sexuales contenidos en el grano de polen y en el óvulo, por lo que se combinan características de los padres (Egúsquiza, 2000).

Ríos (1985) menciona que la semilla sexual de papa, denominada también semilla botánica de papa o semilla verdadera, es la que se obtiene por reproducción sexual en el interior de los frutos (bayas) de la planta, los cuales por lo general tienen la apariencia de pequeños frutos verdes de tomate con grado variable de pigmentación de antocianina, dependiendo del cultivar.

La semilla “recién cosechada” generalmente se encuentra en estado de “reposo”. Por consiguiente, germina con dificultad bajo temperaturas que oscilan alrededor de los 25°C. Es por esto que, en condiciones de campo, generalmente se observa que la germinación de la semilla sexual es muy desuniforme (2-4 semanas) como para producir con ella directamente el cultivo. Cuando la semilla es almacenada en forma apropiada, sale del estado de reposo y adquiere la capacidad de germinar en menos de siete días bajo condiciones de alta temperatura (27 – 47 °C) (CIP, 1999).

La semilla es el óvulo fecundado, desarrollado y maduro. Es plana, ovalada y pequeña (1000 a 1500 semillas/g). Cada fruto puede tener desde cero (frutos partenocárpicos) hasta aproximadamente 500 semillas, según la fertilidad de cada variedad. Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa y un tejido de reserva (endosperma). La forma del embrión es abastionada o como una “U” y orientada hacia el punto de unión con la placenta (hilium). El embrión tiene dos polos opuestos: la radícula, que constituye el primordio radicular, y la plúmula, que contiene el primordio caulinar y los dos cotiledones.



Figura 12: Fruto tipo baya de la papa. A) En desarrollo, B) Corte mostrando la placentación axilar



Figura 13: Bayas de papa silvestre. A: *Solanum verrucosum*; B: *S. andreanum*; C: *S. schenckii*; D: *S. moscopanum*

Fuente: Spooner, 2002.

Pallais (1995) menciona las siguientes conclusiones sobre la semilla sexual de papa: 1) Que el porcentaje de germinación al séptimo día en alta temperatura (27/40°C) es un parámetro altamente confiable para poder predecir el vigor de la semilla durante su emergencia y el desarrollo inicial de las plántulas después de sembradas en condiciones de campo. 2) La semilla debe permanecer siempre almacenada con un bajo contenido de humedad (3-5%). 3) El reposo, el vigor y la viabilidad de la semilla se preserva mejor cuando es almacenada

con un bajo contenido de humedad (5%) y a baja temperatura (15°C). 4) El reposo, el vigor y la viabilidad de la semilla se pierden rápidamente cuando es almacenada con un alto contenido de humedad (>7%) y a mayor temperatura (>15°C).

3.6.1 Manejo pos cosecha de la semilla sexual de papa

El valor de la semilla sexual de papa (SSP) al momento de la siembra, independientemente de la práctica de poscosecha usada, dependerá finalmente de la calidad de la semilla al momento de la cosecha. Solo se debe producir SSP en climas secos y templados que son ideales para la producción de tubérculos – semilla.

Las SSP debe ser producida por bayas cosechadas a partir de nueve semanas después de la polinización en plantas madres que crecen vigorosamente y están libres de enfermedades. Las bayas de papa se deben producir en el primer nivel de inflorescencia para obtener como resultado semillas de óptima calidad. Las bayas nunca se deben producir en el tercer nivel de inflorescencia.

Se deben cosechar las bayas una sola vez, cuando muestren evidencias de haber madurado completamente (cuando están blandas). No se deben almacenar las bayas por mucho tiempo (no más de dos semanas) después de la cosecha para evitar la sobremaduración. Las bayas no se deben almacenar bajo una temperatura extrema, no menos de 15°C o más de 40°C.

3.6.2 Dormancia en la semilla de papa

La semilla sexual de papa recién cosechada es dormante y tiene que ser almacenada con menos de 4,5% de humedad hasta que pierda su dormancia y adquiera su valor óptimo de siembra.

La dormancia en SSP se refiere al hecho de que la semilla recién cosechada germina en menos de ocho días a 15°C (+-2°C, pero no germina o lo hace más lentamente a más de 20°C. La SSP recién cosechada se considera dormante cuando no germina en menos de ocho días a 27°C.

La inhibición para germinar a altas temperaturas (25°C) de la semilla sexual de papa recién cosechada se pierde paulatinamente durante su almacenamiento. El tiempo de almacenamiento necesario depende del genotipo, el año, la zona de producción, la madurez de la semilla a la cosecha y, sobre todo de la temperatura durante su almacenamiento.

En la mayoría de los genotipos investigados, la SSP recién cosechada y seca (menos de 4,5% de humedad) pierde su dormancia entre 2 y 9 meses después de almacenada a 40°C, entre 10 y 18 meses a 0°C y entre 24 y 36 meses a 20°C. Las progenies de estas semillas se caracterizan por su heterogeneidad y es importante reconocer que cada una de las semillas pierde su dormancia en un tiempo diferente.

Algunas progenies son menos uniformes que otras con respecto a la intensidad de la dormancia de sus semillas individuales e igual sucede con las características de sus tubérculos. Por lo tanto, la pérdida completa de la dormancia, sin causar algún daño a las semillas menos dormantes, es casi imposible cuando se almacenan las semillas a altas temperatura (mayor a 30°C).

A menos de que se disponga de información precisa sobre la uniformidad de las características de dormancia de un lote específico, es más seguro suponer que un lote dado ha perdido su dormancia cuando más del 50% de las semillas dentro de la progenie germinan a 27°C en menos de ocho días. (Pallais, 2005).

3.6.3 Regeneración de la semilla de papa silvestre

Es importante determinar cuándo realizar la regeneración, los criterios a considerar son los siguientes:

- Si la germinación del germoplasma almacenado desciende por debajo del 85%
- Si la semilla esté en malas condiciones, enferma o infestada por plagas
- Si se necesite semilla para distribuir a otros bancos de germoplasma
- Si se requiere hacer duplicados de seguridad
- Si se necesita semilla para siembras en el campo con el objetivo de seleccionar accesiones con atributos específicos

El período entre ciclos de regeneración varía con el genotipo. Cada genotipo tiene diferentes características de reproducción y diferentes grados de viabilidad de la semilla durante el almacenamiento a largo plazo. Se tiene que hacer pruebas de germinación cada 5 años para determinar cuándo regenerar. Se pueden realizar tratamientos previos y monitoreo de la viabilidad.

3.6.4 Viabilidad de semillas en papa silvestre

Se realizan las pruebas de germinación, bajo los parámetros de 80% de humedad, 20°C de temperatura, 12 horas luz y 3000 candell de intensidad. Al evaluar la viabilidad se toma una muestra de 100 semillas.

Se realiza un tratamiento con ácido giberélico (AG3) a 1500 ppm, dejar por 24 horas las semillas sumergidas en el ácido giberélico, pasado el tiempo lavar dos veces con agua destilada y agregar agua destilada para el plaqueo, distribuir homogéneamente y equidistante las semillas en las placas Petri sobre el papel filtro para su fácil control, colocar en la cámara de germinación por 21 días, se monitorea la humedad de las semillas, lo ideal es mantener a capacidad de campo, se monitorea de manera interdiaria. Se evalúa a los 7, 14 y 21 días, y se anota en la base de datos, se cuenta el número de semillas germinadas, expresadas en porcentaje.

Desde el punto de vista fisiológico, la germinación se define como la reanudación del metabolismo y crecimiento activo del embrión provocando la ruptura de los tegumentos seminales y el brote de la nueva planta (Meyer et al., 1972).

Para efecto de practicidad en la evaluación de germinación, se considera que una semilla ha germinado cuando la radícula atraviesa la cubierta seminal y se puede observar la radícula a simple vista. En el caso de embriones desnudos, se considera que hay germinación con el inicio de la elongación de la radícula (Gálvez et al., 2003).

La prueba de germinación es una prueba estándar a partir de una muestra de semillas que informa sobre el porcentaje de semillas que han reanudado rápidamente la actividad metabólica y el crecimiento propios de la germinación para obtener plántulas normales (Peretti, 1994).

Las condiciones ambientales para la germinación son específicas de cada especie. ISTA (2016) establece una serie de recomendaciones para cada especie sobre el sustrato a utilizar, la temperatura de germinación, los días de conteo y en algunos casos, otras recomendaciones de tratamientos específicos para favorecer la germinación.

3.6.5 Semillas ortodoxas

Las semillas ortodoxas toleran una deshidratación hasta de 5% en el contenido de humedad; por su parte, las semillas que toleran la deshidratación entre 10% y 12,5% de contenido de humedad se consideran intermedias y las que toleran la deshidratación entre 15% y 50% de humedad se denominan recalcitrantes (Farrant et al., 1993; Gentil, 2001).

La principal característica fisiológica de las semillas ortodoxas es su gran tolerancia a la deshidratación. Su fase final de maduración está acompañada por una deshidratación celular, la cual se inicia con la pérdida de agua del suministro vascular de la planta madre a la semilla, como resultado de la separación de funículos entre 40 y 50 días después de la polinización (Bewley y Black, 1994). En este período, las semillas adquieren la tolerancia para ceder a la deshidratación, característica que mejora su viabilidad y el potencial de almacenamiento (Nkang, 2002; Hoekstra et al., 1994).

3.7 Almacenamiento de las semillas



Figura 14: Almacenamiento de semillas

<https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/cali-resguarda-nuestras-semillas-para-la-posteridad/>

3. 8 Procesamiento de las semillas

El acondicionamiento de semillas se entiende como el conjunto de operaciones posteriores a la cosecha al que se somete un lote de semillas con el fin de maximizar la cantidad de semilla pura con el más alto grado de uniformidad, vigor y germinación. Esta actividad se conoce en diversos países de América Latina con otros términos tales como beneficio, procesamiento, beneficiamiento, limpieza o selección de Semillas (Badiali, 2013)

El objetivo general del acondicionamiento de semillas es obtener de un lote de semillas el máximo porcentaje de semilla pura, con el más alto grado de uniformidad, vigor y germinación, a un costo razonable (Badiali, 2013)

En el laboratorio, las muestras recibidas son procesadas con el objetivo de obtener una muestra de semillas viables, limpias y de alta calidad para ser almacenadas, manipuladas, transportadas y utilizadas de manera fácil y eficiente. Durante el procesamiento de semillas se eliminan todo tipo de desechos vegetales y material inerte (piedrecillas, granos de arena). Las semillas dañadas o infestadas también deberán ser retiradas para disminuir la propagación de insectos u hongos que puedan dañar a las semillas viables, en la medida que éstas puedan ser detectadas.

El procesamiento de semillas se realiza en varias etapas. La secuencia de operaciones especializadas que se necesiten para el acondicionamiento de un lote de semillas dependerá de las circunstancias y las condiciones en que se reciben las semillas.

En términos generales el procesamiento de semillas se debe realizar lo antes posible después de la colecta, para asegurar la calidad de las semillas recolectadas. La tolerancia a la desecación es una consideración muy importante al momento de recolectar, manejar y procesar una muestra de semillas. Semillas recalcitrantes tienen la primera prioridad en el procesamiento para evitar pérdidas en la calidad y viabilidad de las semillas, mientras que semillas ortodoxas son capaces de esperar un poco más por su limpieza. Es esencial, además, asegurar la integridad de la muestra durante todo el proceso, evitando que esta pueda ser contaminada. Para ello todos los equipos, herramientas, utensilios y recipientes utilizados en cada etapa en este proceso deben estar limpios, desinfectados y libres de semillas de otras especies. Una cuidadosa limpieza de utensilios, el lugar de trabajo deberá realizarse entre el procesamiento de una muestra y otra para evitar mezclas entre muestras. Por su tamaño las muestras de semillas pequeñas corren más riesgo de ser contaminadas con semillas de otras muestras.

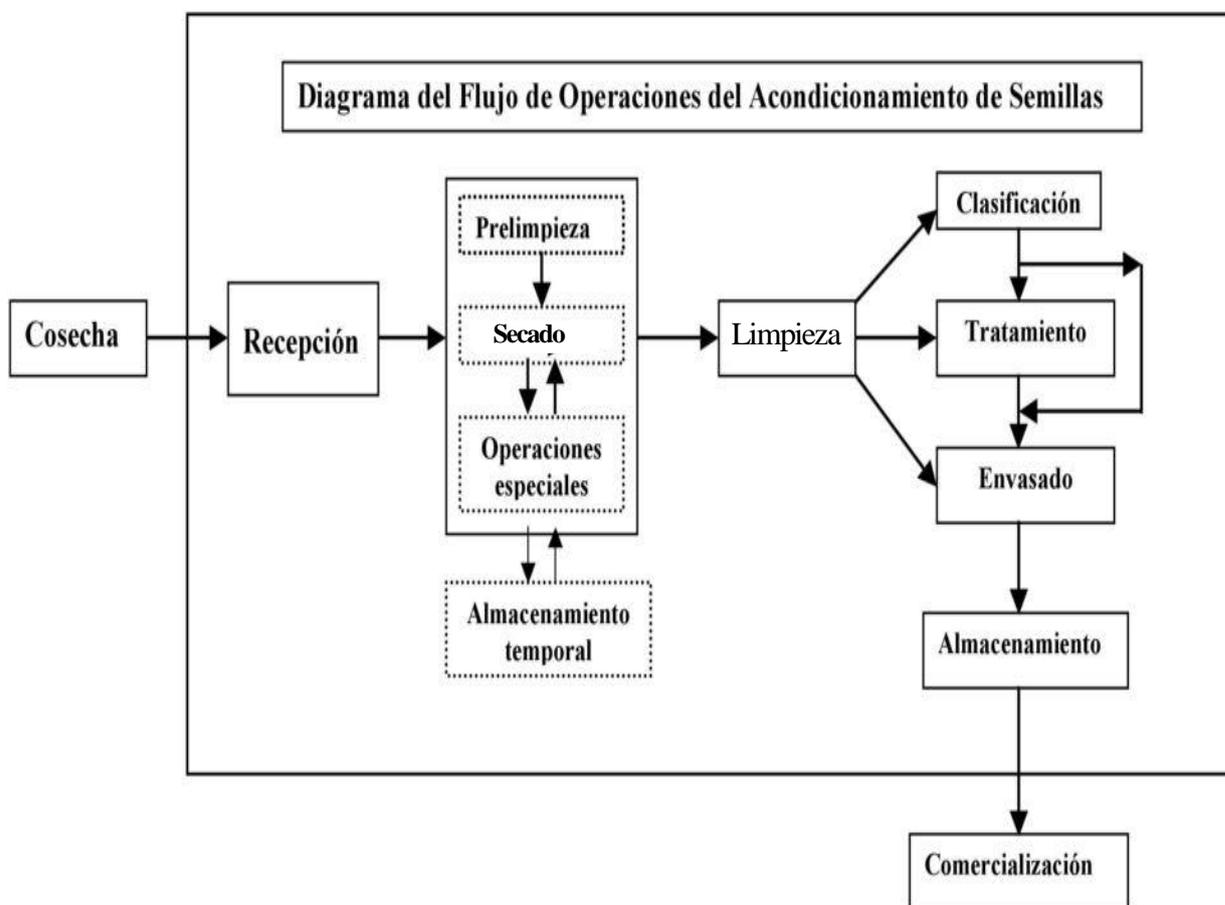


Figura 15: Diagrama de flujo de operaciones del acondicionamiento de semillas
(Badiali, 2006)

3.8.1 Etapas de procesamiento para cultivos en general

Recepción y muestreo

Recepción: Es el proceso de caracterización e identificación de los lotes de semillas que son recibidos en la UAS (Unidad de Acondicionamiento de Semillas). Un lote es una cantidad limitada de semillas con atributos físicos y fisiológicos similares, dentro de ciertos límites tolerables (Peske, 2003).

Cada lote de semillas posee su historia, por lo tanto, es necesario mantenerlos individualizados y debidamente caracterizados (Peske, 2003).

Es la operación inicial del acondicionamiento y se realiza después de la cosecha cuando la semilla se transporta a la planta de acondicionamiento e ingresa a la misma.

Formas de Recepción: Puede ser en bolsas o a granel.

- **En bolsas:** Se facilita la recepción porque pueden controlarse mejor los lotes durante el manejo y también puede realizarse el secado de la semilla en las bolsas. Las semillas que se manejan en bolsas son aquellas que constituyen lotes pequeños como los correspondientes a las semillas hortícolas y forrajeras, también lotes de semilla de maíz de las líneas puras.

- **A granel:** Los volúmenes grandes de semillas se manejan a granel para hacer menos maniobras. El equipamiento necesario para la mejor eficiencia de esta operación son tolvas, silos, transportadores y elevadores.

Análisis de la muestra de recepción

La forma que tiene el operador de la planta de acondicionamiento de conocer la serie de operaciones que se realizarán con un lote de semillas es mediante un análisis de las condiciones en que se recibió el lote de semillas. Este análisis se basa en un muestreo al azar de los lotes recibidos.

Tabla 4: Características a considerar en los lotes de semillas

Nro.	Característica
1	Nombre del productor
2	Origen
3	Número o letra del lote
4	Cantidad de bolsas/peso
5	Fecha
6	Especie y variedad
7	Humedad
8	Pureza
9	Viabilidad

(Peske, 2003).

Muestreo: es el proceso por el cual se obtiene una pequeña fracción de semillas que irán a representar el lote en las evaluaciones de calidad como: humedad, pureza y viabilidad. (Peske, 2003).

Pre limpieza

Es necesaria cuando la cantidad de materiales indeseables es alta, consiste básicamente en la retirada de los materiales mayores, menores y más livianos del lote de semillas (Peske, 2003). Se puede usar la máquina de aire y zarandas con alta producción.

Tabla 5: Ventajas principales de la pre limpieza

Nro.	Ventaja
1	Facilidad de secamiento
2	Reducción del volumen a ser almacenado
3	Facilidad de transportes por elevadores
4	Facilidad de operación de las maquinas subsecuentes
5	Mejores acondicionamientos en el almacenamiento regulador de flujo

(Peske, 2003)

Limpieza

Es la remoción de los materiales indeseables del medio del lote de semillas sólo es posible si hay diferencia entre los componentes.

Tabla 6: Propiedades físicas a considerar para la separación

Nro	Propiedad
1	Ancho
2	Espesor
3	Longitud
4	Peso
5	Forma
6	Peso específico
7	Textura superficial

(Peske, 2003)

Clasificación

A veces se realiza de acuerdo a la propiedad física más resaltante. El maíz es la especie que generalmente se clasifica y se considera la anchura, el espesor y a veces la longitud. Para la clasificación de acuerdo a la anchura y el espesor se recomienda el uso de zarandas cilíndricas en lugar de planas.

Tratamiento de las semillas

Es recomendable hacerlo para protegerlas contra las plagas y las enfermedades, aunque no es obligatorio, en algunos países hay normas para la comercialización que exigen tratar las semillas.

El tratamiento de semillas también se realiza para ayudar a las semillas en condiciones adversas de humedad y temperatura del suelo en la época de siembra.

Tabla 7: Requerimientos básicos para el tratamiento eficaz del tratamiento de semillas

Nro	Requerimiento
1	Tipo de producto químico a ser utilizado
2	Tipo de patógeno
3	Modo de sobrevivencia del patógeno en la semilla
4	Potencial del inóculo sobre la semilla o en el interior
5	Viabilidad del patógeno e insecto en cuanto a su sensibilidad al tratamiento químico
6	Condiciones de campo en que la semilla tratada será sembrada
7	Dosis del producto químico
8	Métodos y equipos empleados

(Peske, 2003)

Pruebas rápidas de viabilidad

Son procedimientos que generalmente no requieren de muchos recursos humanos y materiales, que permiten determinar rápidamente la calidad de una muestra de semilla en relación al tiempo que dura una prueba de germinación o una prueba de vigor.

La prueba de tetrazolium

La prueba de tetrazolio es un análisis bioquímico basado en la actividad de las enzimas deshidrogenasas, las cuales catalizan reacciones en la mitocondria respiratoria durante la glucólisis y el ciclo de Krebs. Esta prueba permite determinar rápidamente la viabilidad de las semillas además de ser una referencia de su poder germinativo. El cloruro o bromuro de tetrazolio es una sal, soluble en agua e incolora, la cual es absorbida por las semillas y difundida a través de sus tejidos, produciendo en las células vivas una reacción de reducción que resulta en la formación de un compuesto de color rojo, estable y no difusible que permanece en las células donde se formó. (Franca, 1998)

Peretti (1994) menciona que la coloración proveniente de la reacción por causa del tetrazolio es una indicación positiva de la viabilidad de la semilla mediante la detección de la respiración a nivel celular. Los tejidos no viables no reaccionan; es decir, las células muertas permanecen incoloras, mientras que aquellas células que respiran débilmente o están enfermas presentan una coloración rosada. Asimismo, la coloración que presentan las semillas, como un indicador de su viabilidad, considera aspectos como el grado de intensidad de la coloración de los tejidos de la semilla, el tamaño de la región coloreada en la semilla y la existencia o falta de manchas irregularmente distribuidas en la semilla.

Almacenamiento de las semillas

El almacenamiento de las semillas es la preservación de las semillas en condiciones ambientales controladas para que mantengan la viabilidad durante períodos prolongados.

La longevidad de las semillas depende de su calidad inicial, del contenido de la humedad y de la temperatura durante el almacenamiento.

En general, un contenido de humedad bajo y una temperatura baja reducen la pérdida de viabilidad en las semillas. Para prolongar la viabilidad de las semillas durante el almacenamiento, se pueden emplear diferentes combinaciones de contenido de humedad y temperatura.

Existen dos modalidades de conservación de los recursos genéticos almacenados en forma de semilla: las colecciones base, que conservan las muestras de semilla a largo plazo para seguridad, y las colecciones activas, que mantienen muestras de semilla para el uso inmediato. Estas colecciones varían en cuanto a temperatura, humedad relativa, contenido de humedad de las semillas, recipientes y condiciones de distribución del germoplasma.

3.9 Banco de Germoplasma

La FAO (1993) plantea que los bancos de germoplasma son el medio principal para almacenar material fitogenético en un medio controlado, donde las semillas pueden desecarse hasta alcanzar un contenido de humedad bajo y almacenarse a temperaturas bajas sin perder su viabilidad. Además, estas se ponen a disposición de los usuarios para que sea utilizada directamente y sirva como material básico en la generación de variedades superiores (Sevilla y Holle, 2004). Los recursos fitogenéticos se pueden conservar en sus hábitats naturales (in situ), en condiciones diferentes a las de su hábitat natural (ex situ), o combinando los métodos in situ y ex situ. Esta dependerá de las necesidades, las posibilidades y la especie en objetivo (Jaramillo y Baena, 2000). Según Engels y Visser (2007), la conservación ex situ es el método de conservación mejor investigado y más ampliamente usado en el mundo por las diferentes instituciones.

Tabla 8: Centros GCIAI (CGIAR) que administran colecciones de germoplasma en nombre de la comunidad mundial

Nro	Nombre
1	Bioversity International
2	CIAT
3	CIMMYT
4	CIP
5	ICARDA
6	Centro Mundial de De Agrosilvicultura (antes ICRAF)
7	ICRISAT
8	Instituto Internacional de Agricultura Tropical
9	Instituto Internacional de Investigaciones Agropecuarias
10	INIBAP
11	IRRI
12	Centro Africano del Arroz (antes Warda)



Figura 16: Bancos de germoplasma en el mundo - CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación en Agricultura Internacional) - Segundo informe sobre el estado de los recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo
FAO, 2010

3.9.1 Bancos de germoplasma en el mundo SGSV Svalbard

Ubicada al norte de la península escandinava, 1300 Km más allá del Círculo Polar Ártico (a 800 Km del Polo Norte), 130 metros al interior de una ladera. Es el centro de almacenamiento de semillas más grande del mundo, abierto por el gobierno de Noruega en febrero de 2008. Guarda semillas de bancos de germoplasma de todo el mundo con el fin de mantener su viabilidad a largo plazo en bóvedas de roca bajo condiciones de baja humedad y refrigeración en bóvedas de roca.

La autoridad responsable es el Ministerio de Agricultura y Alimentación noruego, pero es operado por un consorcio internacional (FAO, bancos nacionales, GCIAl, TIRFAA). El almacenamiento del germoplasma no tiene costo.



Figura 17: Bancos de Germoplasma en el Mundo SGSV Svalbard

3.10 Conservación del germoplasma y su importancia

El germoplasma es el conjunto de genes y alelos de una especie y se usa para fines de investigación y utilización para resolver problemas agrícolas, ambientales, o desarrollo económico. Desde el punto de vista agropecuario, se usa especialmente en el mejoramiento genético, considerándose de importancia mundial para la seguridad alimentaria y sostenibilidad de la agrobiodiversidad. Los bancos de germoplasma de plantas tienen como objetivo el conservar la diversidad genética de las especies involucrando el germoplasma del material cultivado y especies silvestres relacionadas (Díez et al., 2018). La conservación de germoplasma de plantas puede llevarse a cabo en los hábitats naturales (*in situ*) o fuera de estos ambientes estableciendo colecciones de germoplasma (*ex situ*).



Figura 18: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira; Bioversity International; Cali, CO, 2007.

3.11 Colección base

Una colección base es un conjunto de accesiones únicas, cuya integridad genética es lo más cercana posible a la muestra original. Las semillas de una colección base por lo general no se distribuyen directamente a los usuarios; solo se utilizan para regenerar colecciones activas (FAO/IPGRI, 1994).

Las colecciones base se almacenan durante períodos prolongados a temperaturas bajo 0°C – generalmente entre -18 y -20°C– para mantener la viabilidad de las semillas.

Engels y Visser (2002) introdujeron el término ‘muestra más original’ (MMO) para calificar las muestras de una colección base. Una MMO se compone de semillas que se han sometido al menor número de regeneraciones desde que el banco de germoplasma adquirió el material; pueden ser submuestras del lote original o una muestra de semillas del primer ciclo de regeneración, si el lote original requirió regeneración antes del almacenamiento.

3.12 Colección activa

Las colecciones activas se componen de accesiones que están disponibles para distribución inmediata. Estas accesiones son de acceso frecuente y se mantienen en condiciones que garanticen una viabilidad de por lo menos 65 % durante 10-20 años (FAO/IPGRI, 1994).

Para reducir el costo de refrigeración, resulta más práctico utilizar un contenido de humedad más bajo y almacenar a una temperatura más alta. Sin embargo, cuando no es posible secar hasta un contenido de humedad bajo, se puede almacenar a un nivel más alto de humedad, pero aplicando una temperatura más baja.



Figura 19: Banco de semillas del BGSNB-CIEF; sistema de almacenamiento de semillas dentro de la colección activa (izquierda), congelador y estanterías para el almacenamiento de los lotes conservados en la colección base (medio y derecha).

3.13 Tipos de instalaciones para el almacenamiento

Las dos opciones de que comúnmente se dispone para el almacenamiento de las semillas son los congeladores y los cuartos fríos. La selección depende del número de accesiones que se vayan a almacenar, del tamaño de las semillas y de las temperaturas de almacenamiento que se escojan. Cuando las colecciones son pequeñas y se requieren temperaturas bajo cero, una opción de bajo costo para el almacenamiento de las semillas son los congeladores, horizontales o verticales

3.13.1 Almacenamiento en cuarto frío

Si el banco de germoplasma tiene un cuarto frío con acceso para desplazarse dentro de él, lo mejor es usar estantes móviles para maximizar el espacio de almacenamiento. Cada estante está dividido en varios entrepaños. La distancia entre cada entrepaño dependerá del tamaño de los recipientes. Los recipientes pequeños o las bolsas de aluminio se pueden colocar en cajas o en bandejas, que se ubican luego en los entrepaños de los estantes. Un sistema de codificación puede ayudar al personal del banco de germoplasma a ubicar las accesiones para recuperar las muestras; la codificación se puede ingresar en una base de datos o en un sistema de inventario.



Figura 20: Almacenamiento en cuarto de frío

<https://www.edificacionescien.com/blog-cien/20-almacenes-de-alimentos-refrigerados.html>

3.13.2 Congeladores horizontales o verticales

Para almacenar las accesiones en bancos de germoplasma que utilizan congeladores horizontales o verticales, se pueden utilizar recipientes que quepan en los estantes o cajas en las que se puedan guardar recipientes pequeños. Al igual que en el almacenamiento en frío, se puede establecer un sistema de codificación que ayude a ubicar las accesiones, que incluya el número del congelador, el número del entrepaño y el número de la caja.



Figura 21: Laboratorio CULTIVE – congelador vertical (-18°C), Nevera (4°C) Banco de Germoplasma de la Universidad Rey Juan Carlos

IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA LABORAL

4.1 Ubicación de la experiencia laboral

La experiencia profesional se llevó a cabo en el Laboratorio de Semillas del Genebank del Centro Internacional de la Papa, ubicado en el distrito de La Molina, provincia y región Lima, cuyas coordenadas son las siguientes: latitud. 12°04'37"S, longitud. 76°56'46"O y altitud 240 msnm.

4.2 Centro Internacional de la Papa (CIP)

El Centro Internacional de la Papa (CIP) fue fundado en 1971 como un organismo de investigación para el desarrollo con un enfoque en papa, camote, raíces y tubérculos andinos. Ofrece soluciones científicas innovadoras para mejorar el acceso a alimentos nutritivos y asequibles, fomenta el crecimiento sostenible e inclusivo de las empresas y del empleo, e impulsa la resiliencia climática de los sistemas agroalimentarios de raíces y tubérculos. Con sede en Lima, Perú, Tiene centros experimentales en Huancayo, en las alturas andinas, y en San Ramón el CIP tiene una presencia de investigación en más de 20 países de África, Asia y América Latina. Su investigación se realiza a través de 15 centros del CGIAR en estrecha colaboración con cientos de socios, incluyendo institutos nacionales y regionales de investigación, organizaciones de la sociedad civil, la academia, organizaciones de desarrollo y el sector privado.

Visión

Un mundo sano, inclusivo y resiliente a través de sistemas basados en raíces y tubérculos.

Misión

El CIP ofrece soluciones innovadoras basadas en la ciencia para mejorar el acceso a alimentos nutritivos asequibles, fomentar el crecimiento de empresas y empleos inclusivos y sostenibles, e impulsar la resiliencia climática de los sistemas agroalimentarios de raíces y tubérculos

4.3 Tiempo de labores

La labor desarrollada en el CIP fue de tres años y medio desde setiembre del 2017 a marzo del 2021

4.4 Funciones desarrolladas en el área

Las funciones desarrolladas durante el periodo de permanencia en el CIP fueron el apoyo en actividades para conservación de semillas en el banco de germoplasma, trabajo en laboratorio con el monitoreo de desarrollo de pruebas de viabilidad, regeneración de material para la conservación en el banco de germoplasma, conducción de experimentos siguiendo las instrucciones del supervisor y coordinación con los colaboradores, siguiendo medidas de salud y seguridad.

Responsable del mantenimiento del material experimental, equipos a utilizar, y suministro de materiales necesarios para la conservación. Asimismo, del registro y monitoreo de resultados en base de datos.

También responsable del manejo cultural y fitosanitario en el control de plagas en cobertores; así como del lavado, desinfección según protocolos establecidos, apoyo en las labores agronómicas, preparación de sustrato para trasplante de plántulas, preparación de herbarios y disección floral, entre otros.

4.5 Procesamiento de semillas

El objetivo general del procesamiento de semillas es obtener el máximo de porcentaje de semilla pura con el más alto grado de uniformidad, vigor y germinación del lote de semillas cosechada.

4.6 Pasos para el procesamiento de semilla de papas silvestres

4.6.1 Recepción y caracterización

La recepción del material se realiza en los meses de abril y mayo, esto depende de los envíos que hagan las estaciones de Huancayo y Cusco, los encargados de recepcionar el material son los técnicos y auxiliares.

Consiste en recibir el material que viene en jabas de plástico y agrupar las bayas provenientes del campo por número de colector.

La caracterización es de labor exclusiva y estricta del curador. La caracterización consiste en agrupar y describir y verificar sistemáticamente las accesiones de una especie a partir de las características cualitativas y cuantitativas como el hábito de crecimiento, la altura de la planta y el color de las flores, entre otras. Estas características son de alta heredabilidad y no varían con el ambiente (IPGRI, 2000).

La caracterización de germoplasma es un factor estratégico en el proceso investigativo debido a que es un componente para la solución de problemas actuales y futuros relacionados con la obtención de variedades mejoradas mediante la utilización de métodos tradicionales o biotecnológicos.



Figura 22: Verificación del material enviado de las estaciones Ing. A. Salas (curador)

Tabla 9 : Materiales para recepción y caracterización

Nro	Material
1	Mesa de trabajo
2	Bandejas plásticas
3	Laptop o libro de registro
4	Listas impresas del material
5	Jabas con material enviado
6	Bolsas de papel

Procedimiento:

La recepción consiste básicamente en verificar las condiciones óptimas de material enviado. Una vez recepcionado el material en las jabas, se procede a ordenar en bandejas de plástico por número de colector, estas permiten una mejor manipulación del material a evaluar, se entrega al curador y él procede a hacer la caracterización y dar las observaciones, o el visto bueno del material y anotar en las listas impresas con las que se enviaron. Se selecciona el material que contiene bayas maduras para procesarlas en el siguiente paso, las que faltan madurar se guardan en ambientes que les permitan madurar.



Figura 23: Verificación del grado de madurez de las bayas



Figura 24: Comparación de bayas maduras e inmaduras

4.6.2 Almacenamiento de bayas

Luego de la recepción del material enviado de las estaciones se procede al almacenamiento de las mismas.

Tabla 10: Materiales para almacenamiento de bayas

Materiales

Nro	Material
1	Jabas de plástico
2	Bolsas de papel

Procedimiento

Luego de la caracterización se realiza el almacenamiento de bayas, consiste en distribuir las bayas en jabas desinfectadas según el estado fisiológico (grado de madurez) se clasifican y seguido se almacena en la antecámara fría a -4°C o en un espacio ventilado y fresco, esto se realiza en el caso del material cosechado que aún no está completamente maduro.

Si hubiese material muy maduro, se puede colocar en otras bolsas de papel para reforzar y llevarlo al siguiente paso de inmediato.

A medida que van alcanzando la madurez se van sacando las bayas para la próxima etapa.



Figura 25: Cámara de frío

<https://www.edificacionescien.com/blog-cien/20-almacenes-de-alimentos-refrigerados.html>

4.6.3 Extracción de las semillas

El siguiente paso lo realizamos con las bayas maduras de las papas silvestres, estas son frutos carnosos, por lo tanto, tienen prioridad en el procesamiento debido a que la cubierta pulposa comienza la fermentación y las semillas corren el riesgo de deteriorarse.

Los frutos pequeños como las bayas de papas silvestres son blandos o pulposos, entonces pueden ser macerados completamente en forma manual en recipientes con agua. En ambos casos, el resultado será una mezcla de pulpa con semillas que puede ser separada utilizando mallas, cribas o tamices.

Tabla 11: Materiales para la extracción de semillas

Nro	Material
1	Beaker de plástico de 2000 mL
2	Tijera
3	Mallas filtradoras
4	Pinzas
5	Etiquetas de papel
6	Papel filtro Nro. 2
7	Bandeja de plástico



Figura 26: Materiales para la extracción de semillas
(beaker, tijera, pinza, paleta de plástico, malla, papel filtro)

Procedimiento

Para la extracción de las semillas se coge el material de la población a trabajar y esta es separada de las demás para evitar mezclas, Se procede a colocar las bayas del lote a trabajar en el beaker, seguido se llena con abundante agua y se empieza a extraer las semillas por maceración manual, es decir, se separa las semillas de un fruto maduro con agua, presionando suavemente para evitar algún daño.

Se va escurriendo el agua lentamente tratando solo de quedar con las semillas, una vez que se ha eliminado los restos de los ovarios y las semillas vanas, se puede ayudar con las pinzas el retiro del descarte, se vuelve a llenar agua para seguir escurriendo y votar las impurezas o restos sólidos ajenos a las semillas, se repite esto cuantas veces sea necesario. Luego se procede a separar cuidadosamente las semillas del agua y para ello se emplea una malla, después se extienden las semillas limpias sobre un papel filtro con ayuda de una etiqueta de plástico. A continuación, se colocan las etiquetas correspondientes y la fecha de limpieza.

La pulpa puede ser fácilmente separada de las semillas, debido a que normalmente flota y puede ser eliminada junto con el agua, si se necesita, se usa la pinza para facilitar la labor, mientras que las semillas se van al fondo.

Para separar las semillas se utiliza abundante agua a presión y se deja que las semillas se depositen en el fondo del recipiente y se lavan hasta que estén completamente libres de restos de la baya (Osorio et al., 2008).



Figura 27: Extracción de semillas de papas silvestres

Es la primera actividad propiamente dicha, consiste en extraer el líquido y sólido de la baya por maceración manual hasta obtener semillas limpias y pre secas a temperatura ambiente y a luz difusa.



Figura 28: Separación de la semilla con agua.

M. Vargas/CIP

El papel filtro ha sido previamente preparado para este contenido, se tienen en tres tamaños chico, mediano y grande, según la cantidad de semillas. Se escoge el papel filtro, se rotula con la información adecuada (etiquetas de maceración), previo a esto se ha impreso las etiquetas de identificación, las cuales contienen el acrónimo de la especie, el número del colector, el tipo de cruce, el total de las flores que han sido polinizadas, el número total de bayas, la fecha de la maceración y la localidad de donde proviene.

Estas etiquetas se utilizan en el papel filtro, se pegan en la parte superior, además se corta cuidadosamente con la tijera, la información de la bolsa de papel y esta se coloca junto con las semillas y en caso sobren etiquetas de identificación se colocan juntas.

Luego, se colocan los papeles filtros que contienen las semillas separadamente en bandejas plásticas, por bandeja pueden entrar desde cuatro hasta diez dependiendo del tamaño y contenido, luego son llevadas a un ambiente para el siguiente paso.

Cada vez que se termine de procesar una accesión, se limpia el área y se desinfecta con lejía.

En algunos casos se puede emplear guantes, pero por un tema práctico no se emplea ya que dificulta un poco el lavado y podría generarse un tema de contaminación de material en caso no se tuviera cuidado pues, puede quedar una semilla y sin darse cuenta se coloca en la

siguiente accesión, por eso es importante hacer esta labor con el mayor cuidado posible ya que es un punto crítico.

4.6.4 Pre secado

El pre secado es el siguiente paso a la extracción de las semillas, después de lavar y extraerlas las semillas deben ser “secadas” inmediatamente. Para ello, las semillas deben ser esparcidas en capas delgadas sobre papel grueso, malla de acero o plástico o de diario, y dejadas a la sombra donde circule el aire, tratando de evitar el calor, hasta que se sequen. Si luego del secado, aún presentan restos de pulpa, entonces pueden seguir su procesamiento.

Una vez extraída las semillas se procede con el pre secado que consiste en realizar un secado previo de las semillas a la sombra.

Tabla 12: Materiales para el pre secado

Nro.	Material
1	Bandejas de plástico
2	Papel filtro
3	Pinza

Procedimiento

Se procede en primer lugar a limpiar y a desinfectar con alcohol el lugar donde se colocará el material.

Luego se colocan las bandejas de plástico con los papeles filtros conteniendo las semillas extraídas, en un ambiente fresco y a temperatura ambiente en el laboratorio de semillas; puede ser en promedio unos cinco días, pero puede variar desde tres a siete días dependiendo de las condiciones del material y a veces de la cantidad.

Después, se va monitoreando diariamente y se voltean los papeles filtros en cuanto sea necesario. Es importante tener cuidado con la aparición de algún hongo o patógeno externo. A medida que van secando las accesiones se van colocando en recipiente de plástico de esta manera pasarán al siguiente paso del procesamiento.



Figura 29: Material en recipiente de plástico listo para la limpieza

4.6.5 Limpieza

Es la eliminación de las impurezas, residuos, restos de material vegetal, semillas rotas, deformes con la finalidad de obtener semillas limpias o puras.

La limpieza se realiza entre cinco a diez días luego del pre secado, se limpian detenidamente las semillas, luego se cuenta y colocan nuevamente en un sobre de manila rotulado con los datos de la accesión y la cantidad total de semillas obtenidas. Se engrapan las etiquetas del cruzamiento, los datos de las bayas, las bolsas y el papel filtro, para evitar cualquier error en la identidad de la muestra.

Limpieza manual. – Se realiza generalmente en muestras que tengan poca cantidad de semillas.

Tabla 13: Materiales para limpieza manual

Nro.	Material
1	Lupa
2	Cartulina blanca
3	Estiletes
4	Embudo de vidrio
5	Recipiente para impurezas
6	Alcohol
7	Pizetas
8	Lupa
9	Sello
10	Lápiz
11	Tampón



Figura 30: Materiales para limpieza manual de semillas de papas silvestres

Procedimiento

Limpiar y desinfectar cuidadosamente el área donde se va a trabajar, desinfectar con alcohol, y desinfectarse las manos con gel antibacterial o alcohol.

Se coloca sobre la mesa de trabajo, el recipiente de plástico conteniendo las semillas, se coloca la cartulina blanca sobre la mesa de trabajo, se va retirando accesión por accesión, a continuación, se sacan cuidadosamente y con la ayuda del estilete las semillas del papel filtro y se vierten sobre la cartulina, si es que es mucha cantidad se procede a retirar de a poco. Asimismo, se colocan a un costado las etiquetas contenidas en el papel filtro, verificando no lleve o se pegue alguna semilla para evitar mezclas.

Con la ayuda del estilete se va separando y eliminando las impurezas, o todo material ajeno a las semillas de papa silvestre, estas se irán colocando en el recipiente respectivo para su posterior descarte.

Una vez seleccionadas las semillas libres de impurezas se las coloca en un sobre de manila con sus respectivas etiquetas.

Luego se procede a limpiar una vez más el área de trabajo con alcohol y el operador se desinfecta las manos. La idea es asegurar de que no haya quedado restos del lote anterior y así evitar la contaminación y mezcla de semillas, una vez limpio se coge la siguiente accesión y se repite el proceso.



Figura 31. Limpieza mecánica

Limpieza mecánica. – Se realiza con aquellos lotes de semillas que contengan una gran cantidad de semillas e impurezas.

Tabla 14: Materiales para limpieza mecánica

Nro.	Material
1	Limpiador de semillas
2	Sobre de manila
3	Lupa
4	Cartulina blanca
5	Estiletes
6	Embudo de vidrio
7	Recipiente para impurezas
8	Alcohol
9	Lupa
10	Sello
11	Tampón

Procedimiento

Este proceso consiste básicamente en realizar la limpieza con la ayuda de un limpiador de semillas.

Se procede a limpiar la mesa de trabajo con alcohol, desinfectar las manos del operario, colocar la cartulina blanca en la mesa de trabajo. Después se va sacando acceso por acceso, se va retirando de a pocos para llevarlo al limpiador de semillas, previamente desinfectado y limpiado. Luego, se verifica si el depósito de desechos está limpio. Se vierte la semilla, se prende el equipo para que se active el flujo de aire progresivamente y este irá eliminando las impurezas por diferencia de pesos, se procede a retirar las semillas limpias, se colocan sobre la mesa de trabajo con ayuda de la lupa y se verifica si ha quedado alguna impureza y luego se coloca en el sobre de manila, previamente identificado, de ser necesario se realiza una limpieza manual.



Figura 31: Limpiador de semillas

4.6.6 Cuantificación

Consiste en hacer un conteo aproximado de la cantidad de semillas

Tabla 15: Materiales para cuantificación

Nro.	Material
1	Lupa
2	Cartulina blanca
3	Estiletes
4	Embudo de vidrio
5	Alcohol
6	Balanza digital electrónica
7	Pocket
8	Sello
9	Lápiz
10	Tampón

Procedimiento

Desinfectar con alcohol y limpiar el área de trabajo, colocar la cartulina blanca en la mesa de trabajo y desinfectar las manos del operario.

Luego de haber realizado la limpieza de las semillas es importante ahora realizar la cuantificación del material, si la cantidad de semilla es muy pequeña, menor a 100, se hace el conteo uno a uno y se realiza un registro de la cantidad real del lote. Se realiza esto con ayuda de la lupa, teniendo una vez el conteo se procede a anotar en los sobres, donde se ha colocado el sello con el espacio para su registro, se anota la cantidad real.

Si el lote a trabajar contiene alta cantidad de semillas, mayor a 100, se hará el conteo estimando la cantidad por pesos. Primero se saca una muestra de 100 semillas y se pesa, este será llamado un peso 01 para luego pesar el total de semillas, este será llamado peso total. Por una regla de tres simple, se procede a estimar el total de semillas, se registra finalmente los pesos en los sobres de manila, previamente rotulados y etiquetados.



Figura 32: Peso total de un lote de semillas en la balanza digital electrónica de 4 dígitos

4.6.7 Secado

El proceso de secado de las semillas es la fase más importante para la futura viabilidad de estas durante la conservación a largo plazo.

Un apropiado secado de la semilla es la clave para conservarla viva a largo plazo. En bancos de germoplasma, extender el tiempo de supervivencia de las semillas es fundamental para el éxito operativo y financiero. En términos de longevidad de semillas, el secado parece ser la actividad más importante que bajar las temperaturas de conservación de las instalaciones

(Loewer, 1995). Debido a la importancia de disminuir adecuadamente la humedad de la semilla, los procesos de secado deben iniciarse inmediatamente después de la cosecha, cuando se haya alcanzado la madurez fisiológica, en el caso de las semillas de papas silvestres se realiza luego de la cuantificación.

Tabla 16: Materiales para el secado

Nro.	Material
1	Recipiente de plástico
2	Sobres de manila
3	Cámara de secado

Procedimiento

Preparar los recipientes de plástico donde se colocarán los sobres de manila conteniendo las semillas. Este recipiente debe tener perforaciones tanto en la base como en los costados, de no tener, se debe hacer las perforaciones necesarias, desinfectar siempre los materiales con alcohol para evitar contaminaciones.

Se coloca cuidadosamente los sobres uno seguido de otro ni tan apretados para permitir el secado uniforme, es decir se abre los sobres ligeramente, ni tan separados porque podrían caer y así generar una contaminación o mezcla entre lotes.

Se coloca los recipientes de plástico que contienen las semillas en una cámara de secado con aire caliente a 30°C. Después de más o menos siete días, la humedad de las semillas debe haber descendido al 5%.

Sellar herméticamente las semillas secas en bolsas de aluminio laminado, identificadas con los datos de procesamiento, el número de accesión, la especie, los datos de cruzamiento, la cantidad de genotipos, flores y bayas obtenidos, la cantidad total de semillas, y las fechas de cruzamiento, macerado, y cosecha. Estas semillas, como una nueva población regenerada, representan la accesión y la especie.

Consideraciones para el secado

Secado al 7% de humedad

Esto se realiza para minimizar la actividad metabólica y evitar daños por congelación.

Supervisar la operatividad de la cámara de secado en el monitor de la cámara o por el sistema SITRAD. La temperatura no debe exceder los 30°C



Figura 33: Cámara de secado con sobre de semillas de papa silvestre

Sellado: una vez retirados de la cámara de secado se procederá a colocar las semillas en los sobres definitivos para su almacenamiento, las semillas son almacenadas en sobres platino plastificados y herméticamente sellados, comprobar el correcto sellado visualmente y manipulando el sobre. Estos sobres se colocan en gavetas metálicas para su posterior almacenamiento.



Figura 34: Sellado de sobres con semillas de papa silvestre

4.6.8 Almacenado

La principal razón del almacenamiento de las semillas es su distribución en el tiempo y en el espacio (Besnier, 1989), lo que, bajo el punto de vista de su empleo para el reproductor, debe permitir su longevidad, es decir, la conservación de su viabilidad y vigor adecuados en los lugares más apropiados para su nascencia y establecimiento, durante un tiempo razonable.

El CIP conserva más de 140 especies colectadas en 14 países, se conservan en cámaras de a -20°C, se guardan en sobres de aluminio de 8 x 12 cm, estas son colocadas en gavetas metálicas de acero y estas a su vez distribuidas en andamios metálicos de acero. La cantidad de semillas almacenadas por sobre es de 10000 en promedio.

Importancia:

Distribución en el tiempo y en el espacio lo que, debe permitir su longevidad, es decir, la conservación de su viabilidad y vigor.

- Se agrupa por número de colector
- Se almacena en gavetas metálicas previamente rotuladas.

Tabla 17: Materiales para el almacenamiento

Nro.	Material
1	Gavetas metálicas de acero
2	Etiquetas de polietileno
3	Sobres de aluminio de 8 x 12 cm
4	Andamios metálicos de acero
5	Equipos de Protección Personal (EPP)

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El manejo del banco de germoplasma nos permite describir detalladamente cada proceso que este involucra.
- La extracción manual de semillas es eficaz para el procesamiento adecuado, se describieron todas las consideraciones a tener en cuenta.
- Se describió el pre secado de semillas de papas silvestres, lo cual ayuda a evitar posibles enfermedades ocasionadas por hongos principalmente.
- La limpieza de las semillas de papas silvestres influye positivamente para la cuantificación, se puede hacer manual y/o mecánica.
- Dado el tamaño minúsculo de las semillas de papas silvestres para la cuantificación, si la cantidad es menor a 100, se registra la cantidad real, pero si es mayor, se estima la cantidad por pesos.
- El secado de semillas es un paso crucial para la conservación del material a largo plazo, se debe reducir el contenido de humedad de las semillas hasta el 5 a 7% para minimizar la actividad metabólica y evitar daños por congelación.

5.2 Recomendaciones

- Fomentar la investigación en el procesamiento de semillas y divulgación de nuevas técnicas enfocadas en dicho procesamiento.
- Considero que para la caracterización se debe invertir en la capacitación de mayor número de curadores.
- Sugiero optar nuevas alternativas para asegurar que el material enviado llegué en las mejores condiciones posibles, por ejemplo, transporte en cooler.
- Cada paso del procesamiento debe ser lo más cuidadoso posible para evitar una contaminación cruzada, siguiendo todos los protocolos de bioseguridad.
- Se debe asegurar la trazabilidad durante todo el proceso.

- En la extracción de semillas seguir el protocolo estrictamente para evitar que se rompan los guantes y pueda generar contaminación.
- El área de trabajo debe ser única y exclusivamente para el cultivo a trabajar para evitar contaminación cruzada.
- En el pre secado, no exceder la capacidad de semillas por papel filtro, no exceder la cantidad de sobres adecuados por bandeja, buscar como alternativa recipientes más chicos que presionen mejor o diseñar una especie de sobres con papel filtro para evitar pérdidas o mezclas del material (“sobre filtro”).
- En el paso de secado es importante monitorear la operatividad de la cámara de secado, la temperatura no debe de exceder de los 30°C, siendo los hobos una opción.
- En cada paso del proceso es sumamente importante evitar todo tipo de riesgo, por lo tanto, se debe capacitar personal para el procesamiento, hacer cumplir estrictamente los protocolos, en cada etapa siempre existe el riesgo de pérdida de los genes, debemos reducir ese riesgo.
- Considerar o implementar estudios que afiancen cada paso del procesamiento de semillas en papas silvestres.
- Se recomienda para la cuantificación métodos para el control de incertidumbre usando sensores o procedimientos.
- Para asegurar la identidad y la pureza varietal, sería recomendable almacenar las especies silvestres como tubérculos al igual que las cultivadas.
- Se recomienda elaborar manuales para identificar o reconocer el estado de madurez para los frutos de papa.
- Una alternativa adicional para el almacenamiento podría ser la criopreservación de esquejes de papa.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Badialdi, J. 2013. Acondicionamiento de Semillas 1 – 3 <https://docplayer.es/6831839-Acondicionamiento-de-semillas.html>
- Bamberg, J. B., M. W. Martin, and J. J Schartner (1994). Elite selections of tuber-bearing *Solanum* species germplasm. Inter-regional Potato Introduction Station, NRSP-6. Sturgeon Bay, WI.
- Besnier Romero, F. (1989). Semillas: Biología y tecnología. Mundi-prensa. Madrid.
- Bewley, J.D. y M. Black. 1994. Seeds: physiology of development and germination. Plenum Press, New York. 445 pp.
- Castañeda-Álvarez, N. P., Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Bernau, V., Dempewolf, H., Eastwood, R. J., ... & Müller, J. V. (2016). Global conservation priorities for crop wild relatives. *Nature plants*, 2(4), 1-6.
- Centro Internacional de la Papa. 1999. Informe anual CIP 1999.
- Díez, M., Mallor Giménez, C., Blanca, J. M., & Rosa, L. D. L. (2018). Retos que deben afrontar los bancos de germoplasma como recurso para hacer frente al cambio climático. Cap 2-50
- Egúsquiza, B. R. 2000. La papa. Producción, transformación y comercialización. UNALM. Perú.
- Engens, J.; Visser, L. 2007. Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales de Bioersity para Banco de Germoplasma No. 6. Bioersity International. Roma, Italia.
- Estrada R. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. PROINPA/CIA/CIP. Bolivia. pp. 21-88.

- Estrada, N. , Camadro & Espinillo, 1999). (1999). La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=AcB7_VJolocC&pg=PA73&lpg=PA73&dq=papa+floraci%C3%B3n+fotoper%C3%ADodo&source=bl&ots=r0r0BuZuHB&sig=zLPtEWbbs9GSnBnvWUToqg4iHXA&hl=es&sa=X-&ved=0ahUKEwiVopDOsuTYAhWO2FMKHVmuBlk4ChDoAQgpMAI#v=onepage&q&f=false.
- FAO/IPGRI. 1994. Normas para bancos de genes. Roma (disponible en: <http://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/normas-para-bancos-de-genes/>).
- FAO. 1993. Conservación y empleo de recursos genéticos. La diversidad de la naturaleza: un patrimonio valioso. 20 p.
- FAO. 1993. Conservación y empleo de recursos genéticos. La diversidad de la naturaleza: un patrimonio valioso. 20 p. 58. FAO. 1996. Plan de Acción Mundial para la Conservación y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Leipzig, Alemania.
- Farrant, J.M., N.W. Pammenter y P. Berjak. 1993. Seed development in relation to desiccation tolerance: a comparison between desiccation sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation tolerant types. *Seed Sci. Res.* 3, 1-13.
- França-Neto, J.B.; Krzyzanowski, F.C.; Pereira, L.A.G.; Costa, N.P. 1998. El Test de Tetrazolio em Sementes de Soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 117. 72 p.
- Gálvez, R. Navarro, C. Iglesias, S. Montávez, R. Lora, G. Sanchez, H. Trapero, C. Pérez, F. Troncoso, A. Cantos, J. Liñan, M. Garcia, R. Troncoso, J. Martin, M. Álvarez, C. (2003). Material vegetal de reproducción: manejo, conservación y tratamiento (en línea). Consultado el 11 de noviembre 2018. Disponible en: https://censalud.ues.edu.sv/cdocdeployment/documentos/5_almacenamiento_y_conservacion_de_semillas.pdf
- Gentil, D. F. de O. (2001). Conservao de sementes do cafeeiro: Resultados discordantes ou complementares. *Bragantia*, 60(3), 149-154.

- Hawkes, J.G. 1963. A revision of the tuber-bearing *Solanums*. 2a ed. Scottish Plant Breeding Station Record, Roslin, UK. pp. 76, 181. Hawkes, J.G. 1990. The potato: evolution, biodiversity
- Hawkes, J. (1990). The Potato: Evolution, Biodiversity and Genetic Resources. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19901615687>
- Hijmans, R.J. y D.M. Spooner. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *Amer. J. Bot.* 88, 2101-2112.
- Hijmans, R.J., D.M. Spooner, A.R. Salas, A. Guarino y J. de la Cruz. 2002. Atlas of wild potatoes. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools 10(I-IX). International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Hijmans, R., T. Gavrilenko, S. Stephenson, J. Bamberg, A. Salas y D.M. Spooner. 2007. Geographic and environmental range expansion through polyploidy in wild potatoes (*Solanum* section Petota). *Global Ecol. Biogeogr.* 16, 485-495.
- Iwanaga M., Ortiz R., Cipar M.S. & Peloquin S.J. (1991). A restorer gene for genetic-cytoplasmic male sterility in cultivated potatoes. *Am. Potato J.* 68: 19–28.
- IPGRI. (International Plant Genetic Resources Institute) 2000. Estudios sobre el procedimiento para evaluar y seleccionar germoplasma de cacao FC/ICCO/IPGRI project Workosop 1998 Montpellier, FR. Eds Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA. 176 p
- Jansky, S. (2010). Breeding for Disease Resistance in Potato. *Plant Breeding Reviews*, 69–155.
- Jaramillo, S. y Baena, M. 2000. Conservación ex situ de recursos fitogenéticos. Cali, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). pág. 122
- Loewer P. 1995. Seeds – The definitive guide to growing, history and lore. Mcmillan, New York, New York, USA. 230p.
- Meyer, B. S; Anderson, D.B. y Bohning, R.H. (1972). Introducción a la fisiología vegetal. Universidad de Buenos aires, Argentina. p. 59-63.
- Nkang, A. 2002. Carbohydrate composition during seed development and germination in two sub-tropical rainforest tree species (*Erythrina caffra* and *Guilfoylia monostylis*). *J. Plant Physiol.* 159 (5), 473-483.

- Ochoa, C. (1999). Las papas de Sudamérica: Perú (Parte I). International Potato Center, Lima. 1036 p.
- Orjuela Palacio, J. M., Graiver, N. G., Santos, M. V., & Zaritzky, N. E. (2019). Efecto de la tolerancia a la desecación y performance de protocolos de criopreservación en la viabilidad de semillas CitrusLimon L. Burm cv. Eureka. In V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería.
- Ortiz, R. & Ehlenfeldt, M. (1992). The Importance of Endosperm Balance Number in Potato Breeding and the Evolution of Tuber-Bearing *Solanum* species. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00029665>
- Osorio, P.G; y B. Rosales. 2008, Producción de papa a partir de semilla sexual - Centro de Investigación de Cultivos Agrícolas (CICA).
- Pallais, N. Moreira, Rojas. 1995. Taller regional sobre semilla sexual de papa (SSP).Matagalpa -Nicaragua. 15-21 p. Journal report
- Peretti, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Primera edición. Buenos Aires. Hemisferio Sur. p. 13,198,204,209-212
- Ríos, A. C. 1985. Evaluación de métodos agronómicos para el mejor establecimiento de plántulas de semilla botánica de papa. Universidad Nacional del Centro del Perú. Tesis (Ing. Agr.). Huancayo - Perú. 87 p.
- Sevilla R & Holle M. 2004. Recursos Genéticos Vegetales. Ed. Torre Azul. Lima, Perú.
- Spooner, D.M., K. McLean, G. Ramsay, R. Waugh y G. Bryan. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. PNAS 102, 14694-14699.
- Spooner, D.M. y W.L.A. Hettterscheid. 2005. Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. pp. 285-307. En: Motley, T.J., N. Zerega y H. Cross (eds.). Darwins harvest: new approaches to the origins, evolution and conservation of crops. Columbia University Press, New York, NY.
- Spooner, D.M., J. Núñez, F. Rodríguez, P.S. Naik y M. Ghislain. 2005a. Nuclear and chloroplast DNA reassessment of the origin of Indian potato varieties and its implications for the origin of the early European potato. Theor. Appl. Genet. 110, 1020-1026.

- Spooner, D., Ghislain, M., Simon, R., Jansky, H. & Gavrilenk, T. (2014). Systematics, Diversity, Genetics, and Evolution of Wild and Cultivated Potatoes. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/269723251_Systematics_Diversity_Genetics_and_Evolution_of_Wild_and_Cultivated_Potatoes.
- Spooner, D.M. y A. Salas. 2006. Structure, biosystematics, and genetic resources. pp. 1-39. En: Gopal, J. y S.M.P. Khurana (eds.). Handbook of potato production, improvement, and postharvest management. Haworth's Press, Inc., Binghamton, NY.
- Spooner, D.M., W.L.A. Hettterscheid, R.G. van den Berg y W. Brandenburg. 2003b. Plant nomenclature and taxonomy: an horticultural and agronomic perspective. Hort. Rev. 28, 1-60.
- Spooner, D., F. Rodríguez, Z. Polgár, H.E. Ballard y S.H. Jansky. 2008. Genomic origins of potato polyploids: GBSSI gene sequencing data. The plant genome. Crop Sci. 48, Supl. 1, 27-36.
- Sevilla P, R; Holle O, M. 2004. Recursos genéticos vegetales. Eds. Luis León Asociados. Lima, PE, Torre Azul. p. 283-310.
- Walters, C.; Wheeler LM.; Grotenhuis, JM. (2005). Longevidad de las semillas almacenadas en un banco de genes: características de las especies. Investigación de la ciencia de semillas. 15: 1–20.
- Watanabe, K. (2015). Potato Genetics, Genomics, and Applications. Breeding Science 65: 53-68. Recuperado de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4374564/pdf/65_53.pdf.