

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“DIVERSIDAD DEL CACAO PERUANO Y EL ROL DE LAS
COLECCIONES *ex situ* EN SU CONSERVACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

SPHYROS ROOMEL-LUCIANO LASTRA PAUCAR

LIMA - PERÚ

2021

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales del presente trabajo (Art. 24
Reglamento de Propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

“DIVERSIDAD DEL CACAO PERUANO Y EL ROL DE LAS COLECCIONES *ex situ* EN SU CONSERVACIÓN Y CARACTERIZACIÓN”

Sphyros Roomel-Luciano, Lastra Paucar

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

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

.....
Dr. Raúl Blas Sevillano
ASESOR

.....
Dr. Ricardo Roberto Borjas Ventura
MIEMBRO

.....
Dr. Alberto Marcial Julca Otiniano
MIEMBRO

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios, en quien vivimos, nos movemos y existimos.

A mis padres y hermano.

A todo quien sintió que era mejor rendirse.
Ciertamente vale la pena volver a intentarlo, siempre.

AGRADECIMIENTOS

A Bioversity International y al Proyecto Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas (MOCCA).

Al Dr. Evert Thomas y Dr. Luis Orozco por liderar las áreas del Proyecto MOCCA en las cuales se enmarca este trabajo.

Al Dr. Raúl Blas Sevillano, por su trato amable y valiosos aportes para culminar este trabajo. Así como a los miembros del jurado, por sus oportunas correcciones en miras a mejorar el documento final.

A los miembros del equipo en cada uno de los países donde se desarrolló este trabajo: el Dr. Gastón Rey Loor, el Ing. Walter Chacón y el Ing. Mario Nolasco.

A mis colegas de Bioversity International: Diego Zavaleta, Karina Arango y especialmente a Viviana Ceccarelli por su ayuda en la interpretación de los resultados y elaboración de figuras.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN

I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS.....	3
III	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	3.1 El cultivo de cacao	4
	3.2 Origen y diversidad del cacao en América.....	5
	3.3 Diversidad de cacao en Perú	8
	3.4 Conservación del cultivo de cacao	11
	3.5 Caracterización y evaluación de la diversidad de cacao.....	14
IV	DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL.....	18
	4.1 Línea base de bancos de germoplasma y jardines clonales	19
	4.2 Compilación de información de caracterización de germoplasma de cacao	27
	4.3 Análisis crítico de la experiencia y contribuciones	28
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
VI	BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución porcentual aproximada por región de cultivares de cacao con relación al área cultivada en el Perú (2008).....	10
Tabla 2: Caracteres y descriptores usados para la caracterización morfológica.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción agregada de cacao por continente (t) (FAO, 2019).....	5
Figura 2. Listado de grupos genéticos de cacao y su distribución geográfica en América (Motamayor et al., 2008)	7
Figura 3. Bancos de germoplasma y jardines clonales en Perú. Los puntos en rojo indican las colecciones privadas y los puntos en azul, las públicas. En verde se indican las áreas idóneas para el cultivo de cacao en Perú	22
Figura 4. Porcentaje mediano de materiales de origen local (rojo), nacional (amarillo) e internacional (azul) conservado en los bancos de germoplasma y jardines clonales.	23
Figura 5. Caracterización de los materiales conservados en los bancos de germoplasma y jardines clonales. Se muestran los porcentajes de los materiales en cada banco de germoplasma o jardín clonal que poseen caracterización morfológica, genética molecular, de productividad, de perfil sensorial y de compatibilidad sexual.....	24
Figura 6. Número de bancos de germoplasma y jardines clonales con variedades promisorias de cacao	24
Figura 7. Número de colecciones de germoplasma en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.	25
Figura 8. Número mediano de accesiones conservadas en BG/JC en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.	25
Figura 9. Porcentaje mediano del origen del germoplasma conservando en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.	26
Figura 10. Caracterización de los materiales conservados en los 6 países incluidos en el Proyecto MOCCA.	26

PRESENTACIÓN

El cacao, tuvo su origen y domesticación en los territorios fronterizos de Perú y Ecuador. Además, en el Perú existe una alta diversidad de cacao, habiéndose identificado numerosos materiales promisorios para tolerancia a enfermedades, vigor y rusticidad, y mayor rendimiento, los que vienen siendo usados, desde el siglo pasado, en programas de mejoramiento alrededor del mundo. De ahí, se entiende la necesidad de su identificación, colecta y conservación.

En la actualidad, con el crecimiento de la demanda por cacaos especiales, la diversidad del cacao peruano ha vuelto a llamar la atención por sus características sensoriales superiores. Así también, se ha retomado la búsqueda por materiales locales con características de alta productividad y tolerancia a plagas y enfermedades. Sin embargo, por muy prometedores que parezcan ciertos materiales, es necesario que estos sean debidamente caracterizados, antes de ser recomendados para su utilización en campo.

Partiendo de esto, este documento presentará, a través de la revisión de literatura, el estado del arte del conocimiento de la diversidad de cacao en Perú. Además, mostrará los resultados de un trabajo de línea base de bancos de germoplasma y jardines clonales de cacao, en el que se evaluó su rol en la conservación y caracterización de la diversidad de cacao peruano. Finalmente, se incluirán reflexiones sobre la experiencia laboral en la que se enmarcó este trabajo.

Las experiencias recogidas en este documento se enmarcan en el Proyecto MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas), una iniciativa del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en seis países de Centro y Suramérica, y se realizaron como parte de las funciones del autor mientras se desempeñó como Investigador Asistente en Bioversity International, organismo que investiga temas relacionados a la agrobiodiversidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), un árbol de la familia de las *Malvaceae*, son el tercer producto agrícola de mayor exportación en el mundo y uno de los principales cultivos comerciales en países tropicales (Donald, 2004; Steffan-Dewenter *et al.*, 2007). En la actualidad, se cultiva en alrededor de 50 países de África, América, Asia y Oceanía, produciéndose alrededor de 5 millones de toneladas, de los cuales Latinoamérica aporta con el 17.3% del total (FAO, 2019).

En Perú, existen alrededor de 90 mil agricultores dedicados a la producción de cacao, abarcando más de 145 mil hectáreas, con una producción mayor a las 120 mil toneladas al año, lo que lo convierte en el octavo productor del mundo (segundo en cacao orgánico) (MINAGRI, 2020). Además, después del café es la mejor opción para reemplazar cultivos ilícitos en la Amazonía.

Además, el origen del cacao, y en donde se encuentra mayor diversidad, es la zona del Alto Amazonas, en la frontera cercana a Perú, Ecuador, Colombia y Brasil (Motamayor *et al.*, 2018; Thomas *et al.*, 2012). Así mismo, evidencias de su domesticación se han encontrado en la cultura Mayo-Chinchipe en la frontera peruano-ecuatoriana (Olivera-Nuñez, 2018; Zarrillo *et al.*, 2018).

Desde inicios del siglo pasado, especialmente por las pérdidas de plantaciones enteras de cacao por enfermedades, se realizaron colectas a la amazonia peruana en busca de materiales tolerantes (Pound, 1943, 1945). El cacao Forastero, propio de esta región de nuestro país, empezó a valorarse por su tolerancia a enfermedades, vigor y productividad. Recientemente, otros materiales como el Porcelana de Piura y el Chunchu han ganado bastante popularidad y valor en el mercado de cacaos especiales por su excepcional calidad sensorial (Arevalo-Gardini *et al.*, 2019; Eskes, 2018). De esta manera, se manifiesta la importancia de la diversidad de cacao para el desarrollo del sector.

Sabiendo esto, cabe preguntar ¿cuál es el estado de la identificación y conservación de la diversidad de cacao en nuestro país? Se sabe que en esto tienen un rol importante las colecciones *ex situ* (i.e. bancos de germoplasma y jardines clonales). Al respecto de estos, CacaoNet (2012) identificó 24 colecciones a nivel mundial, de las cuales, cuatro estaban en Perú. En ese sentido, a la fecha, considerando el creciente interés por la diversidad de cacao, surgen las siguientes preguntas ¿cuál es el número de bancos de germoplasma y jardines clonales en Perú? y ¿cuál es su rol en la conservación, caracterización y evaluación de la diversidad de cacao?

Las respuestas a estas preguntas y las acciones provenientes de estas pueden jugar un rol muy importante para el sector en los años venideros. El eficiente uso de nuestros valiosos recursos genéticos permitiría una producción rentable y sostenible, mejorando la vida de miles de familias peruanas.

II. OBJETIVOS

La amplia diversidad genética del cacao es un insumo clave para asegurar la sostenibilidad y diversificación de este cultivo. No obstante, esta se mantiene, en gran parte, sin explotar. Debido a esto, el presente trabajo tiene como objetivo principal caracterizar las colecciones *ex situ*, es decir, bancos de germoplasma y jardines clonales donde se conserva la diversidad de cacao en el Perú, contrastando su estado en relación con a otros países de la región.

En cuanto a objetivos específicos, se pretende:

- Realizar un inventario de los bancos de germoplasma y jardines clonales (BG/JC) en Perú
- Caracterizar los BG/JC y su aporte a la conservación y caracterización de la diversidad de cacao en Perú
- Contrastar el estado de los BG/JC de cacao en Perú con los de otros cinco países latinoamericanos

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El cultivo de cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol siempreverde perteneciente a la familia de las malváceas. Cultivado en los trópicos húmedos, los granos contenidos en sus frutos son principalmente procesados por la multimillonaria industria del chocolate (Motamayor et al., 2008). Otros usos reportados, tanto industriales como tradicionales son la mantequilla de cacao, los *nibs* (granos tostados), la cascarilla de los granos, y la pulpa líquida, entre otros.

Los granos de cacao son el tercer producto agrícola de mayor exportación en el mundo y uno de los principales cultivos comerciales en países tropicales (Donald, 2016; Steffan-Dewenter et al., 2007). En la actualidad, se cultiva en alrededor de 50 países de África, América, Asia y Oceanía, produciéndose alrededor de 5 millones de toneladas, de los cuales Latinoamérica aporta con el 17.3% del total (FAO, 2019) (Figura 1). Además, a diferencia de África y Asia, en Latinoamérica se produce también cacao fino y de aroma, que se diferencia de otros por su perfil de sabores, que incluyen notas a frutos, hierbas, flores y madera, nueces y caramelo. Este tipo de cacao representa solo un 5% del cacao comercializado en el mundo, por lo que se pueden obtener precios premium por sus características superiores (ICCO, 2019).

En Perú, desde su identificación por los conquistadores, el cacao se convirtió en el mayor contribuyente a la economía amazónica durante 200 años (Bartley, 2005). En la actualidad, existen alrededor de 90 mil agricultores dedicados a la producción de cacao, abarcando más de 145 mil hectáreas, con una producción mayor a 120 mil toneladas al año, lo que lo convierte en el octavo productor del mundo (MINAGRI, 2020). Además, es el segundo productor de cacao orgánico a nivel mundial. Los departamentos de San Martín, Huánuco, Junín y Cusco presentan la mayor superficie instalada y cosechada.

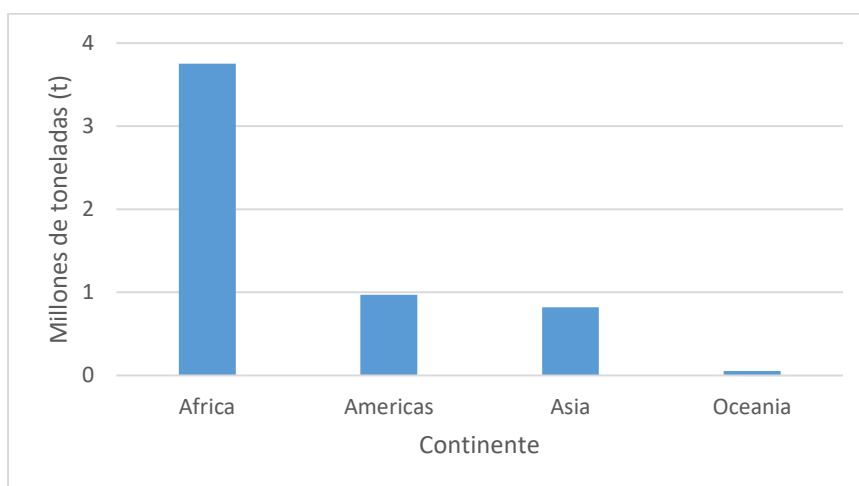


Figura 1. Producción agregada de cacao por continente (t) (FAO, 2019)

Además, cabe destacar que el Perú es considerado uno de los principales productores y proveedores de cacao finos y de aroma, aportando el 8% de la producción mundial. Asimismo, el 60% de la biodiversidad existente de cacao (material genético) se encuentra en el Perú (García, 2010; MINAGRI, 2020).

3.2 Origen y diversidad del cacao en América

Actualmente, es aceptado que el origen del cacao se encuentra en la zona Alta del Amazonas, en la frontera cercana a Perú, Ecuador, Colombia y Brasil, en donde se encuentra su mayor diversidad genética (Motamayor *et al*, 2018; Thomas *et al*, 2012). Esta diversidad natural sería diferente en cada cuenca de los tributarios de los ríos Marañón y Amazonas, resultado de un flujo de genes y cruzamientos confinados a parches por la corta dispersión del polen y semillas (Thomas *et al*, 2012). Por otro lado, al hablar de domesticación, los registros más tempranos provienen de la cultura Mayo-Chinchi (aproximadamente 5300 años atrás), quienes se asentaron en la zona fronteriza de los departamentos de Zamora Chinchipe (Ecuador) y Cajamarca (Perú) (Olivera-Núñez, 2018; Zarrillo *et al.*, 2018).

Es probable que, desde ahí el cacao fuera llevado a las áreas costeras de Ecuador y Perú a través de rutas comerciales (Loor Solorzano *et al.*, 2012), desarrollándose la famosa variedad Nacional de Ecuador, la cual sola es un grupo genético único que incluye también al cacao Blanco de Piura de la costa y amazonia peruana (Arevalo-Gardini *et al.*, 2019).

Mesoamérica es considerado el segundo centro más antiguo de domesticación de cacao. Los restos más antiguos de su uso, por las culturas Olmeca y Maya, datan de hace unos 3000 – 4000 años atrás (Henderson *et al.*, 2007; Powis *et al.*, 2011). Kauffman *et al.* (2007) sugieren que la palabra ‘cacao’, provendría del vocablo “kakawa”, usado por los antiguos olmecas hace unos 3000 años. La forma y el lugar desde el cual fue introducido desde Sudamérica aun es un tema de debate (Cornejo *et al.*, 2018; Thomas *et al.*, 2012). Sin embargo, la evidencia científica muestra que fueron los primeros en utilizar los granos de cacao para la producción de chocolate y su consumo en forma de bebida.

El cacao comprende un gran número de poblaciones muy variables morfológicamente, que pueden cruzarse entre sí (Cheesman, 1944; Bartley, 2005). Sin embargo, análisis moleculares sugieren que la diversidad natural del cacao, esta estratificada por las cuencas de los ríos tributarios del Marañón y Amazonas (en la zona del Alto Amazonas).

Tradicionalmente, el cacao cultivado se ha dividido en tres grupos: criollo, forastero y trinitario (Cheesman, 1944). Esta clasificación está basada en rasgos de tipo morfológicos, particularmente relacionados al fruto y a las semillas de cacao (Cheesman, 1944; Ostendorf, 1957). En consecuencia, N’Goran *et al.* (2000) comentan la existencia de una base genética para esta clasificación. Sin embargo, Motamayor *et al.* (2008) proponen la existencia de diez grupos genéticos, basados en datos de marcadores moleculares y analisis con la estadística bayesiana, siendo estos: Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús (Figura 3).

El grupo de los cacaos criollos son los materiales domesticados en Mesoamérica (Motamayor *et al.*, 2002; Thomas *et al.*, 2012). Motamayor *et al.* (2008) indican que solo individuos de este grupo pueden ser encontrados en bosques primarios entre México y Panamá. Estos tendrían una menor base genética por desarrollarse a partir del limitado *pool* genético traído en pocos materiales de propagación desde la Amazonía. La presión de selección artificial sobre esta población ha llevado a que posean la mejor calidad de cacao fino de aroma, a costa de una alta susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades.

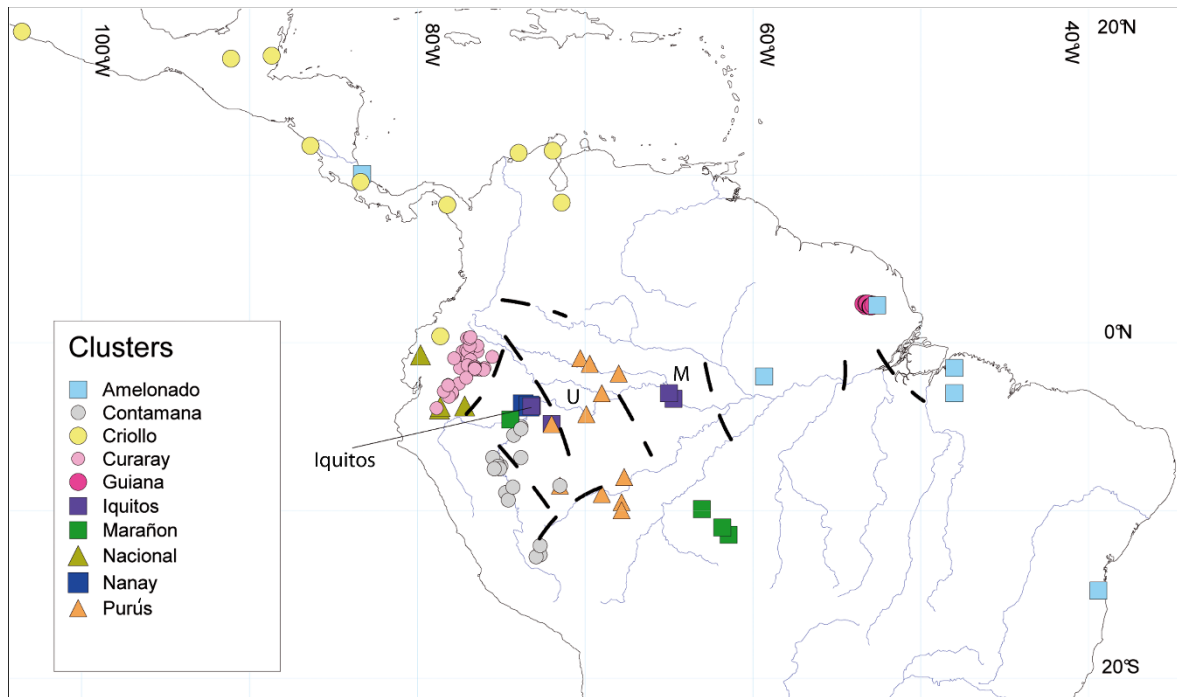


Figura 2. Listado de grupos genéticos de cacao y su distribución geográfica en América (Motamayor et al., 2008)

En cuanto a lo morfológico, los criollos son plantas de porte pequeño a mediano, con hojas pequeñas y gruesas, flores con pedicelos cortos y estaminodios con coloración rosa. La mazorca suele tener la cascara rugosa, con diez surcos simples o en cinco pares, con semillas grandes, pero en poca cantidad (Adriazola, 2003; García, 1991, Bekele *et al.*, 2020).

A partir del s. XVIII, en el que el cacao Criollo fue devastado, especialmente en Trinidad y Tobago (Motilal et al., 2010), y con daños cada vez más marcados a causa de enfermedades, fueron introduciéndose materiales del Alto Amazonas: los llamados cacaos forasteros. El término ‘forastero’ hace referencia a su origen ajeno a Centro América y el Caribe. En este grupo, se reconocen cacaos provenientes del Alto y Bajo Amazonas, así como de las Guyanas (Lachenaud et al., 2000). Así mismo, están incluidas diferentes accesiones bastante conocidas como IMC (Iquitos Mixed Calabacillo), Morona, Nanay, Parinari, Scavina, entre otros. Su potencial se encuentra en la probada tolerancia a enfermedades, especialmente a la escoba de bruja, provocada por el hongo *Moniliophthora perniciosa* (Aime y Phillips, 2006; INIA, 2019). Además, poseen características de vigor, precocidad y alto rendimiento. De esta manera, representan el 60% del cacao cultivado mundialmente, con amplio uso en el mejoramiento (Bekele, 1999; Abdul-Karimu et al., 2003, Iwaro *et al.*, 2005).

Se caracterizan por presentar mazorcas ovoides, amelonadas; con diez surcos superficiales o profundos. La cáscara es lisa o ligeramente verrugosa, delgada o gruesa con una capa lignificada en el centro del pericarpio. Las mazorcas en general son de color verde, con tonos blanquecinos o rosados tenues en algunas poblaciones, como la Parinari (Bekele *et al.*, 2006). Las semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas (García, 1991).

El último grupo, el Trinitario, se originó a partir de la hibridación de ‘Criollo’ x ‘Forastero’, en Trinidad y Tobago a mediados del s. XVIII (Bartley, 2005). El análisis de materiales trinitarios de 17 países a través de marcadores moleculares reveló 3 presuntos progenitores: SP-1, un cacao criollo de Venezuela, MAT1-6, un cacao tipo amelonado de Costa Rica (forastero), y el SIAL 70, un cacao tipo Amelonado de Brasil (Motamayor *et al.*, 2003).

Los cacaos trinitarios solamente son cultivados y no se encuentran en estado silvestre (Wood y Lass, 2001). Desde Trinidad se transfirieron a Venezuela y luego a otros lugares de América. En la actualidad también se encuentran en países de África y Asia como Indonesia, Madagascar, Samoa, Camerún, Ghana, Nigeria, entre otros (Bekele *et al.*, 2020). De esta manera son el tipo de cacao más cultivado en el mundo.

Por lo general, son plantas robustas con frutos de color verde o pigmentado de granos más grandes que sus progenitores (García, 1991). Son altamente apreciados por su valor híbrido, alta productividad, sabores y aromas (Motamayor 2003; Sukha and Butler, 2005).

3.3 Diversidad de cacao en Perú

En Perú, si bien el cultivo de cacao se dio a partir del siglo XVIII, después de la colonización española, se cuentan con registros históricos sobre el uso de la pulpa que rodea a las semillas desde tiempos precolombinos (Clement *et al.* 2010). Las primeras plantaciones incluyeron materiales provenientes de América Central, el Caribe y Ecuador (Bartley 2005). De esta manera, las plantaciones de cacao en el país consisten en variedades tradicionales e híbridos derivados de materiales introducidos. Aparentemente, estos materiales habrían sido incluidos en la Colección Pound establecida en la década de los 30’, y que incluye cinco poblaciones naturales de la amazonia peruana: Iquitos Mixed Calabacillo (IMC), Morona, Nanay, Parinari y Scavina (Arévalo *et al.* 1996; Pound 1945; Zhang *et al.* 2009).

Los avances en selección y mejoramiento hechos en Mesoamérica y Ecuador a mediados del s. XX, alentaron la introducción de nuevos clones al territorio nacional. Hacia 1950 llegan los clones UF de Costa Rica, los ICS del Imperial College de Trinidad y los EET ecuatorianos (Zhang et al., 2011). En esa misma década se inician los esfuerzos de mejoramiento en el país con el objetivo de desarrollar variedades altamente productivas y resistentes a enfermedades (Arevalo *et al.*, 1996). Las cruzas realizadas entre los clones introducidos y materiales Forasteros peruanos se distribuyeron en programas de reconversión apoyados por el Programa de las Naciones Unidas para el Control del Abuso de Drogas (UNFDAC) en los 80-90' (Evans *et al.*, 1998, citado por Zhang et al., 2011)

En Perú existe una alta diversidad de cacao distribuido a lo largo de los catorce departamentos cacaoteros. Al respecto, García (2010), dividiendo en tres clases al cacao cultivado ('criollo', 'CCN-51' y 'otros'), indica que en ocho departamentos predominan cultivos con materiales criollos (refiriéndose a selecciones locales, no necesariamente al grupo Criollo de Centroamerica), mientras que en San Martín y Ucayali abunda la variedad CCN-51. Los cacaos denominados 'Otros' (trinitarios, forasteros y segregantes) no superan el 5% en el país (Tabla 1). No obstante, en la actualidad, la variedad CCN-51 es la más extendida en el país, por su alta productividad (Wiegel *et al.*, 2020).

Tumbes y Piura, ubicados en la costa peruana, presentan cacaos distintivos. En el primero se encuentra una población algo heterogénea que provendría de un cruce de Trinitarios x Nacional de Ecuador (García, 2008). En Piura, se encuentra una variedad tradicional llamada 'Piura Porcelana', que se caracteriza por poseer granos grandes y de color blanco. Este es considerado como cacao fino y de aroma y se usa en chocolatería de alta calidad, lo que permite recibir un mayor precio en el mercado (Arevalo-Gardini et al., 2019). Fenotípicamente es bastante uniforme, manifestándose un efecto fundador, lo que daría cuenta de una diferenciación en la zona de Piura a partir de algunos pocos ancestros de otras poblaciones de cacao (García 2008). Al respecto, Arevalo-Gardini et al., (2019) determinaron que el Porcelana de Piura comparten un ancestro con el Antiguo Nacional de Ecuador, pero posee su propio *status* varietal. A la vez, identificaron que el "Porcelana de Piura" esta mas relacionado a materiales silvestres provenientes de los cursos de los ríos Morona y Santiago en la amazonia entre Ecuador y Perú.

Tabla 1: Distribución porcentual aproximada por región de cultivares de cacao con relación al área cultivada en el Perú (2008)

Departamento	'Criollo' (%)	CCN – 51 (%)	Otros (%)	Área Cultivada (ha)
Tumbes	90	9	1	350
Piura	95	1	4	600
Cajamarca	90	9	1	1500
Amazonas	75	20	5	4000
San Martín	15	84	1	18000
Huánuco	65	34	1	4500
Junín	70	25	5	7500
Ucayali	35	60	5	1500
Ayacucho	65	30	5	14000
Cusco	80	5	15	16000
Otros	65	34	1	700
Promedio Nacional	67.7	28.3	4.0	68650

Fuente: García, L. F. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura. La categoría Otros incluye cacaos Trinitarios, Forasteros y segregantes de estos.

En la selva norte, en las provincias de Jaén y San Ignacio (Cajamarca), y Bagua y Utcubamba (Amazonas), que se caracterizan por tener un clima de bosque subtropical y bosque seco ecuatorial, respectivamente, se han encontrado material genético muy diverso con procedencia local y foránea (García 2008). Cabe resaltar que el cacao producido en Bagua y Utcubamba ha sido merecedor de la Denominación de Origen, que reconoce sus características únicas en comparación con otros cacaos cultivados en el país (INDECOPI, 2016).

En San Martín, más específicamente en el Huallaga central, por sus favorables condiciones edafoclimáticas para el cultivo del cacao, se cuenta con una amplia diversidad de material genético híbrido, y pocas clones trinitarios y complejos que ocupan más del 70% de las plantaciones de cacao a nivel de la región (García, 2008). En esa misma línea, Zhang *et al.* (2011), demostraron que 220 selecciones de agricultores de la provincia de Mariscal Caceres habrían tenido ancestros cacaos Forasteros peruanos (69%) y Trinitarios (25%). Además, los 220 materiales fueron clasificados como clones diferentes entre sí, demostrándose la amplia diversidad genética de la región.

En el departamento de Huánuco, García (2008) encontró una amplia variación en los caracteres morfológicos, tanto a nivel de frutos como de semillas. Debiéndose principalmente a la mezcla y segregación de 6 clones desarrollados en la Estación Tulumayo y otros introducidos desde Costa Rica, Trinidad y Ecuador. Por otro lado, en Junín, los llamados cacaos “criollos”, provendrían de híbridos segregantes de cacao Trinitarios o de cruces de Trinitario x Forastero (García, 2008).

Finalmente, en Cusco encontramos otra variedad tradicional, el cacao Chuncho (= “que proviene de la selva”), de alto valor por sus sabores y aromas únicos. Existen reportes del intercambio de granos de cacao por los nativos Matsiguengas con pobladores andinos desde antes del imperio incaico (Johnson and Johnson, 1996). Este grupo parecería haber tenido un especial interés por el consumo de la pulpa y los granos ligeramente fermentados y tostados (Gade, 1975; Misioneros Dominicanos, 2009, citados por Eskes *et al.*, 2018).

A diferencia del Porcelana de Piura, el cacao Chuncho posee una diversidad genética moderada a alta (Zhang, 2014, citado por Eskes *et al.*, 2018). Rojas *et al.* (2017) indican la existencia de 12 tipos de chuncho, con hasta 26 cultivares. Por otro lado, considerando los 10 grupos genéticos propuestos por Motamayor *et al.* (2008), el cacao chuncho pertenece al grupo Contamana. No obstante, Céspedes-Del Pozo *et al.* (2017) encontró una mayor cercanía del Chuncho con accesiones nativas de Madre de Dios y de los valles del Río Beni en Bolivia.

3.4 Conservación del cultivo de cacao

Las semillas de cacao son recalcitrantes, por lo que germinan tan pronto son removidas de la mazorca y no soportan procesos de secado o conservación a bajas temperaturas. Es por lo que, el germoplasma de cacao debe ser mantenido como arboles vivos en plantaciones (CacaoNet, 2012).

Para la conservación de germoplasma, son imprescindibles los bancos de germoplasma y jardines clonales. La primera, como unidades de conservación y utilización estratégica de variedades representativas de la diversidad genética, con uso actual y/o potencial; y la segunda, como apoyo a las actividades de multiplicación, experimentación y difusión de las

mejores variedades adaptadas a cada zona de cultivo (García, 2008). Estas constituyen lo que se conoce como conservación *ex situ*. No obstante, su mayor limitante es la poca diversidad genética presente en una población natural que puede ser preservada de esta manera (CacaoNet, 2012).

Así también, cabe mencionar la importancia de las llamadas selecciones *in situ* (bosques naturales) u *on farm* (campos de productores) en donde también pueden identificarse materiales promisorios para luego ser llevados a los bancos de germoplasma o jardines clonales. La principal ventaja es que los procesos evolutivos se mantienen de manera dinámica (CacaoNet, 2012).

Numerosas misiones de colecta para conservación *ex situ* se han realizado desde inicios del siglo XX. El objetivo inicial fue la identificación de materiales silvestres promisorios, principalmente tolerantes a enfermedades. Recientemente, las misiones de colecta han estado enfocadas en capturar la diversidad genética dentro de las poblaciones aisladas geográficamente (CacaoNet, 2012). Así, con una amplia base genética y mejoramiento se pueda proveer material de calidad a los productores, mejorando sus vidas y asegurando la sostenibilidad de la producción de cacao.

En la plataforma CacaoNet (2021), que es una red de instituciones cuyo objetivo es optimizar la conservación y uso de los recursos genéticos de cacao a nivel mundial, se reporta la existencia de 32 colecciones de cacao en 24 países. Dos están catalogadas como colecciones internacionales, estas se ubican en Trinidad y Tobago y Costa Rica. Adicionalmente, funciona en Reino Unido, el Centro Cuarentenario Internacional para el Cacao (ICQC), al que llega germoplasma de todo el mundo antes de ser distribuido a su destino final. Las demás, descritas como Colecciones Nacionales, consisten en genotipos locales seleccionados pertenecientes a variedades tradicionales o introducciones desde los centros internacionales.

El Banco de Germoplasma Internacional de Cacao en Trinidad (ICGT), a cargo de la Unidad de Investigación de Cacao (CRU) de la University of the West Indies, posee alrededor de 2400 diferentes accesiones. En él están representados principalmente cacaos de tipo Trinitario y Forastero, con una porción muy baja de Criollos, por la dificultad de su

conservación en condiciones *ex situ* (Bekele *et al.*, 2006). Entre las sub-colecciones más importantes están los 100 clones ICS (Imperial College Selections), cacaos Forasteros del Alto Amazonas, colectados por Pound (1943) en Perú a fines de la década de los 30'.

La segunda colección internacional está a cargo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en Turrialba, Costa Rica. Este fue establecido hacia mediados del siglo pasado, y en los últimos veinticinco años ha trabajado fuertemente en obtener variedades resistentes a enfermedades, de buena producción, compatibles sexualmente y de calidad sensorial superior. Hacia el 2012, la colección consistía en 1147 accesiones de diversos orígenes (Phillips Mora *et al.*, 2012). Seis selecciones hechas en este banco fueron tomadas por el famoso Proyecto Cacao Centroamérica, que los recomendó para su instalación en plantaciones policlonales en 6 países de Centroamérica.

Para el caso de Perú, la plataforma CacaoNet (2021) reporta que la colección más importante es la del Instituto de Cultivos Tropicales en Tarapoto, instalada en 2004, con más de 900 accesiones creciendo bajo tres sistemas de manejo diferente: a) sistema agroforestal con manejo en bosque, b) sistema agroforestal con manejo tradicional, y c) sistema agroforestal con manejo en coberturas (Tarrillo, 2012). Así también, aparecen listados el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en Huánuco; la colección de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, ahora administrada por la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba; y la colección de la Central Piurana de Cafetaleros, ahora a cargo de la Cooperativa NorAndino.

Recientemente, el Proyecto MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas) (2021), una iniciativa promovida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), que busca facilitar el acceso de agricultores a materiales genéticos de calidad, logró identificar más de 80 colecciones de cacao, mantenidas entre bancos de germoplasma, jardines clonales y selecciones *on farm* en 6 países latinoamericanos (Perú, Ecuador, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala). En nuestro país, se reconocieron al menos 55 colecciones, 46 corresponde a Bancos de Germoplasma o Jardines Clonales y las nueve restantes se encuentran en fincas (*on farm*), resguardadas solamente por agricultores.

3.5 Caracterización y evaluación de la diversidad de cacao

La amplia diversidad genética del cacao es un insumo clave para asegurar la sostenibilidad en el largo plazo de este cultivo. Son características clave la alta productividad, resistencia a enfermedades y plagas, rasgos organolépticos superiores, tolerancia a estrés abiótico y cambio climático (Farrell et al., 2018; Lahive et al., 2019). Aun así, esta se mantiene, en gran parte, sin explotar (Medina and Laliberte, 2017).

Entre los roles de las colecciones *ex situ*, se encuentra la caracterización y evaluaciones preliminares de su germoplasma, usando descriptores y variables de tipo morfológicas, bioquímicas, agronómicas y de tolerancia sanitaria (Bekele y Bekele, 1996). Además de facilitar el trabajo de los mejoradores de plantas, esta información permite agrupar o disgregar eficientemente las accesiones para el desarrollo de colecciones núcleo, identificación de duplicados y corrección de posibles mal etiquetados en campo, optimizando los recursos destinados a la conservación (Bekele, 2006).

Enríquez (1966) realizó una de las primeras revisiones de los caracteres útiles para describir cultivares de cacao. El International Board for Plant Genetic Resources (1981), encargado de establecer descriptores para los cultivos más importantes a nivel mundial, planteó una amplia lista de 65 descriptores cuantitativos y cualitativos para hojas, flores, frutos y semilla. Engels (1986, 1993) evaluó el poder discriminativo de estos, proponiendo una nueva lista con 39 descriptores. Recientemente, Bekele *et al* (2006, 2020) utilizaron una serie de 24 y 26 descriptores para describir los cacaos Trinitarios, Forasteros y Refractarios conservados en el ICGC por CRU en Trinidad y Tobago. Estos serían los que tienen mayor poder discriminador, siendo confiables y sencillos de evaluar (Tabla 2).

No obstante, los descriptores mencionados hasta ahora no terminan por dar información útil para la producción del cultivo *per se*. De esta manera, en el ámbito internacional, Phillips Mora *et al.* (2012) presentó, junto a una amplia lista de descriptores, el comportamiento agronómico y sanitario de 6 clones seleccionados en CATIE para siembras comerciales.

Tabla 2: Caracteres y descriptores usados para la caracterización morfológica

Descriptores	Estados del descriptor (valores posibles)
Flor,	
Antocianina en filamentos	0 = ausente, 3 = ligero, 5 = intermedio, 7 = intenso
Ancho de lígula	
Antocianina en lígula	0 = ausente, 3 = ligero, 5 = intermedio, 7 = intenso
Antocianina (color) en pedicelo	1 = verde, 2 = rojizo, 3 = rojo
Longitud de estilo	
Longitud de sépalo	
Número de ovulos	
Mazorca,	
Ancho de fruto	
Antocianinas en surcos	0 = ausente, 3 = ligera, 5 = intermedia, 7 = intensa
Constricción basal	0 = ausente, 1 = ligera, 2 = intermedia, 3 = fuerte, 4 = muy fuerte
Disposición de surcos	1 = equidistante, 2 = apareada
Dureza de cáscara	3 = <2.0 MPa 5 = 2.0 to 2.49 MPa 7 >= C 2.5 MPa
Forma básica de fruto	1 = oblonga, 2 = elíptica, 3 = obovada, 4 = orbicular, 5 = oblata
Forma del ápice	1 = atenuado, 2 = agudo, 3 = obtuso, 4 = esférico, 5 = apezonado, 6 = dentado
Longitud de fruto	
Rugosidad	0 = lisa, 3 = ligera, 5 = intermedia, 7 = intensa
Separación de surcos	1 = ligera, 2 = intermedia, 3 = ancha
Semilla,	
Número de semillas	
Color de cotiledón	1 = blanco, 2 = gris, 3 = violeta, 4 = morado, 5 = púrpura, 6 = moteado
Forma de semilla	1 = oblonga 2 = eliptica 3 = ovada
Índice de mazorca	
Longitud de cotiledón	
Ancho de cotiledón	
Peso del cotiledón	
Peso grano fresco total	

Fuente: Bekele, F. L.; Bidaisee, G. G.; Singh, H.; & Saravanakumar, D. (2020). Morphological characterisation and evaluation of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad to facilitate utilisation of Trinitario cacao globally. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(3): 621–643. doi: 10.1007/s10722-019-00793-7

En Perú, García (2010) presento descriptores morfológicos, de productividad, sanidad y compatibilidad sexual en su Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú, que incluye 73 cultivares conservados en la UNAS (Tingo María, Huánuco). En los departamentos de Amazonas, en las provincias de Bagua y Utcubamba, y Cajamarca, provincias de Jaén y San

Ignacio, (FIP, 2016; García, 2019) se realizó una caracterización de árboles en fincas de agricultores, evaluándose atributos de productividad y de calidad sensorial. Se estableció un sistema de puntuación y los de mejor comportamiento fueron seleccionados para establecer jardines clonales a cargo de las Cooperativas APROCAM y Sol & Café, respectivamente en cada departamento. Por otra parte, para el caso de 11 cultivares de cacao Chunchu, Rojas *et al.* (2017), añadieron una caracterización de tipo industrial, en donde incluyeron el contenido de compuestos volátiles en la pulpa y variables químico-sensoriales en el licor de cacao.

Por otro lado, desde la entrada en rigor de la normativa N° 488/2014 (The European Commission, 2014), con la que la Unión Europea establece nuevos límites para el contenido de cadmio en productos derivados del chocolate, se encendieron alarmas en el sector cacaotero americano. En Perú, los valores más altos de cadmio en suelos de plantaciones cacaoteras se han reportado en Piura, Tumbes, San Martín y Amazonas (Arévalo-Hernández *et al.*, 2016; Scaccabarozzi *et al.*, 2020). Así mismo, Arévalo-Gardini *et al.* (2017) y Lubke (2020) indican potenciales problemas por la presencia de cadmio en granos secos en concentraciones mayores a las permitidas por la legislación europea en Amazonas, Piura, Tumbes y Huánuco. De esta manera, se manifiesta una distribución focalizada del problema de cadmio. En este contexto, junto con soluciones de manejo, se hace importante caracterizar la respuesta en la acumulación de cadmio de diferentes materiales de cacao. Diferencias en la acumulación de cadmio en los granos de cacao, por un efecto genético, han sido reportadas por Lewis *et al.* (2018), Arévalo-Hernández *et al.* (2021). En el primer caso se realizó la caracterización en campo de 100 accesiones conservadas en el ICGC, mientras que, en el segundo, 53 genotipos de cacao conservados en el banco de germoplasma del ICT fueron evaluados en macetas, creciendo en suelos con 25 ug Cd g⁻¹ suelo. En un paso posterior, Bioversity International junto a la Cooperativa NorAndino han establecido ensayos en Piura, una de las zonas con más altos niveles de cadmio Arévalo-Gardini *et al.* (2017), para la evaluación como patrón de cuatro de los doce genotipos promisorios identificados por el ICT (Evert Thomas, comunicación personal).

Con el advenimiento de las técnicas moleculares, la caracterización del cultivo de cacao usando marcadores moleculares es cada vez más frecuentes. Esta se han usado para determinar la estructura genética de poblaciones de cacao (Arevalo-Gardini *et al.*, 2019;

Johnson *et al.*, 2009; Motamayor *et al.*, 2008; Motilal *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2009, 2011), relaciones espaciales entre grupos de cacao (Thomas *et al.*, 2012), identificación de duplicados en colecciones (Turnbull *et al.*, 2004), entre otros.

En la actualidad, con la técnica de asociación de genoma completo (GWAS) es posible relacionar los resultados de la caracterización molecular con características fenotípicas, de tal manera que pueden generarse marcadores que puedan tamizarse el germoplasma en búsqueda de características deseadas (Korte y Farlow, 2013). En cacao, la técnica se ha probado para la identificación de resistencia a enfermedades e incremento de la productividad con resultados alentadores (Romero Navarro *et al.*, 2017; McElroy *et al.*, 2018; Osorio-Guarín *et al.*, 2020).

De lo expuesto hasta aquí, se confirma la importancia de la caracterización del germoplasma de cacao. Sin embargo, CacaoNet (2012) reporta que solo el 52% de 32 colecciones identificadas a nivel mundial, hacen caracterización morfológica regularmente, y en menos del 20% se realizaban caracterización molecular. Ciertamente es un área que necesita mayores recursos para poder ofrecer la totalidad de sus bondades al sector.

IV. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

Las actividades presentadas a continuación, se realizaron en el marco del proyecto Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas (MOCCA; <http://mocca.org/>). Esta iniciativa de cinco años, que inició en el 2019, y está financiada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), busca que los agricultores superen las barreras que limitan sus capacidades para renovar y rehabilitar (R&R) sus plantaciones de café y cacao. De esta manera, podrán incrementar su productividad, mientras mejoran su capacidad de comercialización, ingresos y medios de vida. La teoría de cambio de MOCCA propone que, al entender los beneficios de la R&R, poseer el conocimiento y las habilidades para llevarlos a cabo, y teniendo acceso a material de alta calidad y financiamiento, los productores estarán motivados para implementar prácticas de R&R de bajo costo.

En lo correspondiente al programa de cacao, se espera, bajo el liderazgo del Alivio Mundial Luterano (LWR, por sus siglas en inglés), capacitar a 20 mil productores para mejorar su productibilidad y rentabilidad, facilitar 4900 créditos para capital de trabajo, compra de insumos e inversión en fincas y fortalecer las capacidades de 250 jardines clonales y viveros, de manera que puedan ofrecer material propagativo de calidad.

Es así como, con el objetivo de facilitar el acceso de los agricultores a los productos de la investigación en diversidad y caracterización de cacao, se propuso elaborar una línea base de bancos de germoplasma y jardines clonales en los 6 países de interés para MOCCA: Perú, Ecuador, Honduras, Nicaragua, Guatemala y El Salvador, incluyendo el análisis de su capacidad instalada, los materiales conservados y su nivel de caracterización. Se previó también la revisión de la legislación en cuanto a certificación, verificación y trazabilidad de materiales de propagación (datos no presentados). Posteriormente, estos trabajos se complementarían con la compilación de la información de caracterización de los materiales de cacao conservados en los BG y JC identificados en un catálogo de cacaos peruanos.

4.1 Línea base de bancos de germoplasma y jardines clonales

En primer lugar, se desarrolló un instrumento de recolección de datos. Este consistió en una encuesta en línea con 20 preguntas que buscaron recopilar información en torno a la administración, manejo de plantación y capacidad instalada, de tal manera que se asegure la conservación de los materiales en el largo plazo. Adicionalmente, se exploró el origen y nivel de caracterización de los materiales, la posibilidad de producir y distribuir material de propagación, así como la apertura de sus datos al público en general. A continuación, se presenta la estructura de la encuesta:

1. Datos Generales

- a. Nombre y apellidos del encuestado
- b. Nombre del banco de germoplasma o jardín clonal (BG/JC)
- c. Tipo de institución
 - i. Público
 - ii. Privado
- d. Ubicación política del establecimiento (Departamento, Provincia, Distrito)
- e. ¿En qué año se estableció el BG/JC?
- f. ¿Cuántas hectáreas es el área total del establecimiento?

2. Infraestructura y equipamiento

- a. Indique si su establecimiento cuenta con alguna de las siguientes
 - i. Panel de identificación e informativo en la entrada
 - ii. Letreros de identificación para los genotipos o accesiones
 - iii. Croquis detallado de la distribución de cada genotipo o accesión en el campo
 - iv. Cerco perimétrico
 - v. Almacén para equipos e insumos agrícolas
 - vi. Reservorio o tanque de agua para irrigación
- b. ¿Cuenta con la capacidad de producir material propagativo?
- c. Si es así, ¿cuántos plantones injertados o varas yemeras puede producir por año?

3. Manejo de la plantación

- a. ¿Cuenta con un plan de manejo detallado para el BG/JC?

- b. En los últimos 5 años, ¿cuántas veces (años) ha realizado las siguientes actividades de manejo de plantación? (Responder con: nunca, 1-2 veces, 3-4 veces, 5 veces)
 - i. Podas
 - ii. Manejo de malezas
 - iii. Fertilización
 - iv. Control fitosanitario
 - v. Riego

4. Origen y evaluación de las accesiones

- a. ¿Cuál es el número aproximado de accesiones conservadas en el BG/JC?
- b. ¿Cuál es el origen de los genotipos o accesiones conservados en el BG/JC? (Indicar la proporción: 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)
 - i. Local
 - ii. Nacional (dentro del mismo país)
 - iii. Internacional
- c. ¿Cuál es el porcentaje de genotipos o accesiones que cuentan con la siguiente información de caracterización? (Responder con: 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)
 - i. Georreferenciación
 - ii. Caracterización morfológica
 - iii. Caracterización genética
 - iv. Índices de productividad
 - v. Caracterización del perfil sensorial
 - vi. Autocompatibilidad sexual
- d. Según la caracterización realizada, ha identificado algún genotipo o accesión con características promisorias para:
 - i. Resistencia o tolerancia a plagas
 - ii. Resistencia o tolerancia a enfermedades
 - iii. Tolerancia a sequía
 - iv. Tolerancia a altas temperaturas
 - v. Alta productividad
 - vi. Calidad sensorial superior

- e. ¿Ha realizado trabajos de mejoramiento genético con los genotipos o accesiones de su colección?
- f. ¿Cuenta con información o una base de datos de libre acceso con la caracterización de los materiales de su colección?

En cada país se estableció un equipo responsable, quienes distribuyeron la encuesta con los encargados de BG y JC identificados previamente, a través del conocimiento de actores clave del sector cacaotero en los seis países. Una vez obtenidas las respuestas, en algunos casos se realizaron llamadas telefónicas o visitas a las instalaciones de los BG y JC para complementar la información. Con los resultados y la revisión de la legislación, cada equipo consultor remitió un informe, el cual después de un proceso de retroalimentación, fue aceptado y se utilizó como insumo para la elaboración de un informe a nivel regional.

Los resultados de los seis países se publicaron en una serie de boletines técnicos a modo de trípticos (MOCCA, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e, 2020f), de tal manera que los principales resultados puedan ser más fácilmente difundidos entre todos los actores del sector cacaotero. A continuación, se presentan los resultados generales para Perú, y su estado en comparación con los otros países.

En Perú se lograron identificar 55 colecciones (Figura 3), la mayoría conservada en bancos de germoplasma (BG) y jardines clonales (JC), sin embargo, se reportó la existencia de nuevo colecciones en finca (*on farm*) resguardadas por agricultores. El BG más importante en términos de número de accesiones fue el del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en San Martín con más de 900 accesiones. Así mismo, San Martín es el departamento con mayor cantidad de BG y JC con un total de 13. Le siguen Amazonas, Cusco y Junín como los lugares con más BG y JC en el país.

De las 55 colecciones identificadas, se obtuvieron respuestas de 24 instituciones. En general los establecimientos tienen una superficie mediana de 1.7 ha, infraestructura adecuada, con buenos sistemas de identificación en campo de sus materiales. Menos de un 30% de estos ha realizado alguna publicación poniendo a disponibilidad sus datos para los interesados. Además, cerca al 80% de los BG y JC tienen la posibilidad de producir material de propagación y ponerlo a disposición del público en general o asociados, si se trata de una cooperativa. La producción anual de estos materiales alcanza a unas 17.5 mil plantas.

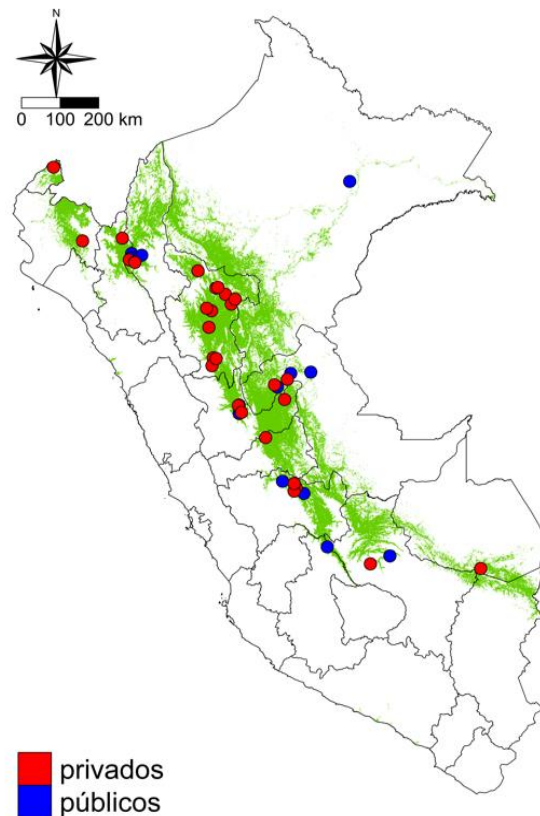


Figura 3. Bancos de germoplasma y jardines clonales en Perú. Los puntos en rojo indican las colecciones privadas y los puntos en azul, las públicas. En verde se indican las áreas idóneas para el cultivo de cacao en Perú

Por otro lado, se encontró que en los BG/JC se conservan un número elevado de genotipos (mediana = 27; rango = 5-900), y cuyo origen es principalmente local (mediana = 60%), es decir del mismo departamento en donde está instalada la colección (Figura 4). Sin embargo, cabe mencionar que la variabilidad es alta, existiendo colecciones con un porcentaje de material local de 100%, como la de las cooperativas APROCAM y CEPROAA en Amazonas, y, por el contrario, colecciones con 100% de material internacional como la de la Universidad Nacional de Ucayali.

Al evaluar la caracterización de los materiales en los BG/JC, se encontró que esta es adecuada en los aspectos morfológicos, de productividad y de perfil sensorial, con un promedio del 60% de accesiones caracterizadas en estos ámbitos. Sin embargo, se tiene una deficiente caracterización molecular y de compatibilidad sexual, con menos del 30% de

colecciones caracterizadas genéticamente con marcadores moleculares y caracterizadas en cuanto a su autocompatibilidad sexual. Un análisis por estrato, según el número de accesiones conservadas en los BG/JC, muestra los mismos niveles de caracterización, e incluso manifiesta que la caracterización genética en colecciones que poseen de 11-100 accesiones es nula.

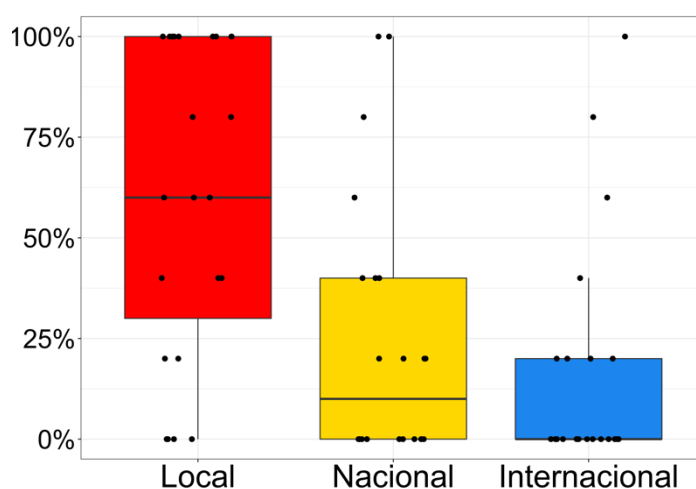


Figura 4. Porcentaje mediano de materiales de origen local (rojo), nacional (amarillo) e internacional (azul) conservado en los bancos de germoplasma y jardines clonales.

Los niveles de caracterización presentaron una dispersión bastante alta, manifestada por la amplitud de los diagramas de cajas (Figura 5). En estos se observan que, para todas las categorías de caracterización, existen colecciones con niveles de 0% y 100% de caracterización. En el caso de la caracterización molecular, existen 5 colecciones con todas sus accesiones evaluadas con marcadores genéticos, sin embargo, en 15 este tipo de caracterización es nula, por lo que su mediana es cero. Para las evaluaciones de autocompatibilidad, solo tres (12.5%) colecciones cuentan con este tipo de información para todas sus accesiones, aunque, positivamente, al menos un 30% de BG/JC tienen evaluada la compatibilidad sexual para el 40% de sus materiales. (Figura 5).

Como resultado de esta caracterización, se han logrado identificar genotipos promisorios con características de alto rendimiento, calidad sensorial superior, y resistencia a plagas y enfermedades. Sin embargo, son casi nulas las identificaciones de materiales tolerantes a factores abióticos, lo que podría tomar relevancia en el contexto de cambio climático en el que nos encontramos (Figura 6).

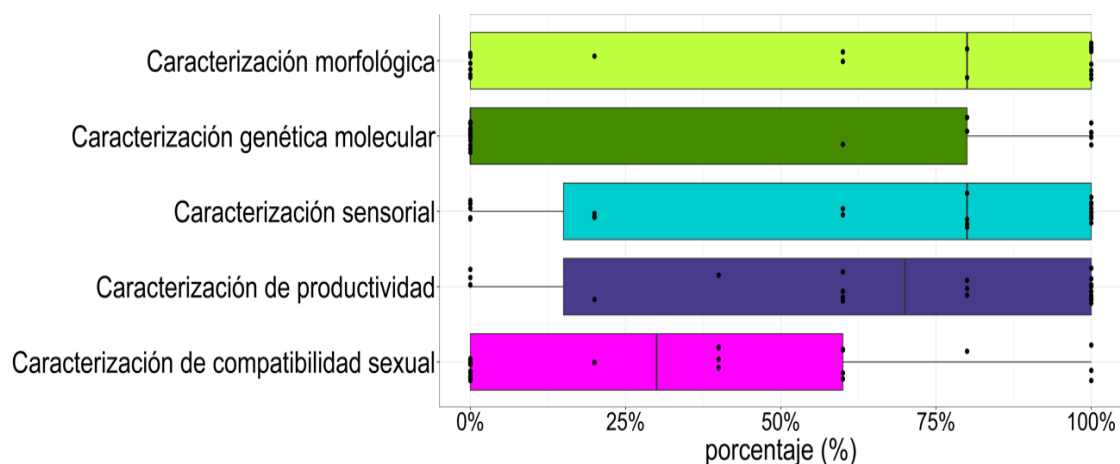


Figura 5. Caracterización de los materiales conservados en los bancos de germoplasma y jardines clonales. Se muestran los porcentajes de los materiales en cada banco de germoplasma o jardín clonal que poseen caracterización morfológica, genética molecular, de productividad, de perfil sensorial y de compatibilidad sexual.

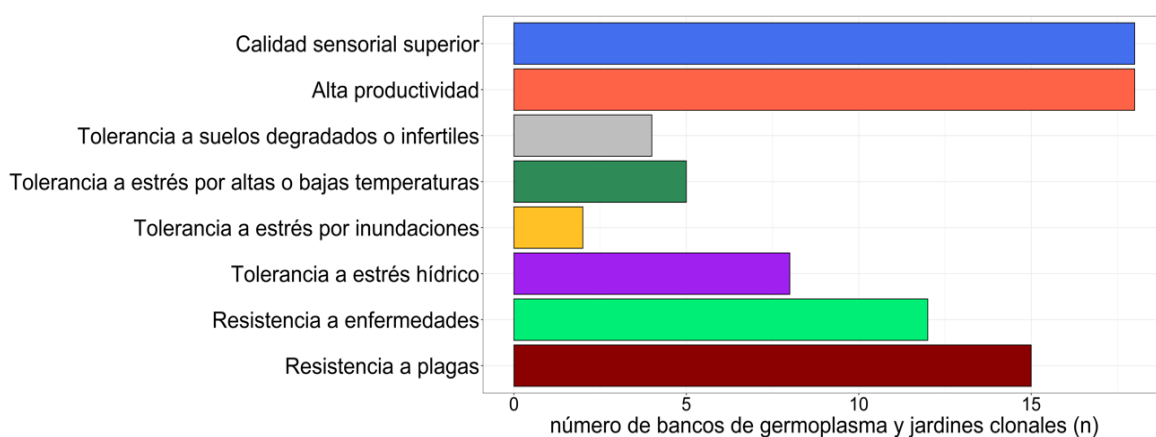


Figura 6. Número de bancos de germoplasma y jardines clonales con variedades promisorias de cacao

En el contexto regional, se encontró que en Perú existe una mayor cantidad de colecciones de cacao que en cualquier otro de los países incluidos en el Proyecto MOCCA (Figura 7). En cuanto al número de genotipos o accesiones conservadas en cada país, Ecuador presenta el mayor número mediano de accesiones con 147, seguido por Perú con 28 (Figura 8).

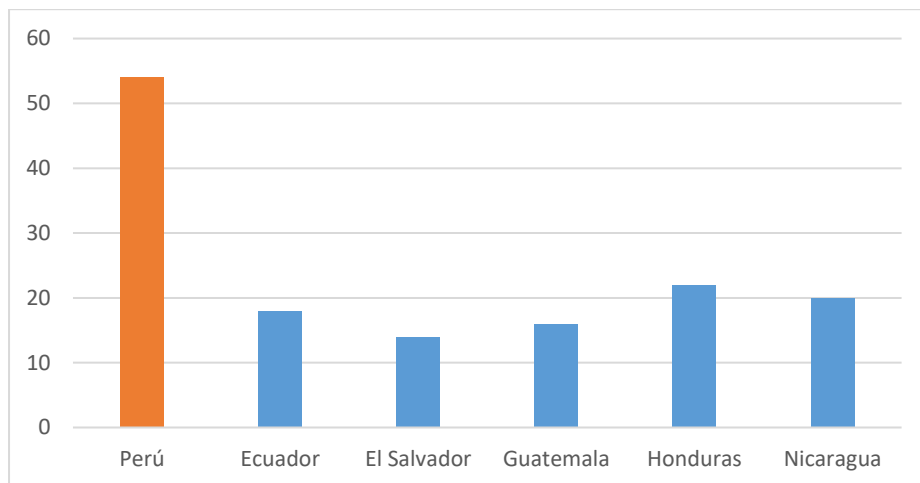


Figura 7. Número de colecciones de germoplasma en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.

Además, en ambos países, las colecciones albergan principalmente materiales propios, es decir genotipos locales o nacionales (Figura 9). De esta manera, se estaría favoreciendo la selección y obtención de materiales adaptados a regiones específicas, de tal manera que su uso en esas regiones favorecería la resiliencia ante el cambio climático e incrementaría el valor agregado a través del uso de la denominación de origen, por ejemplo.

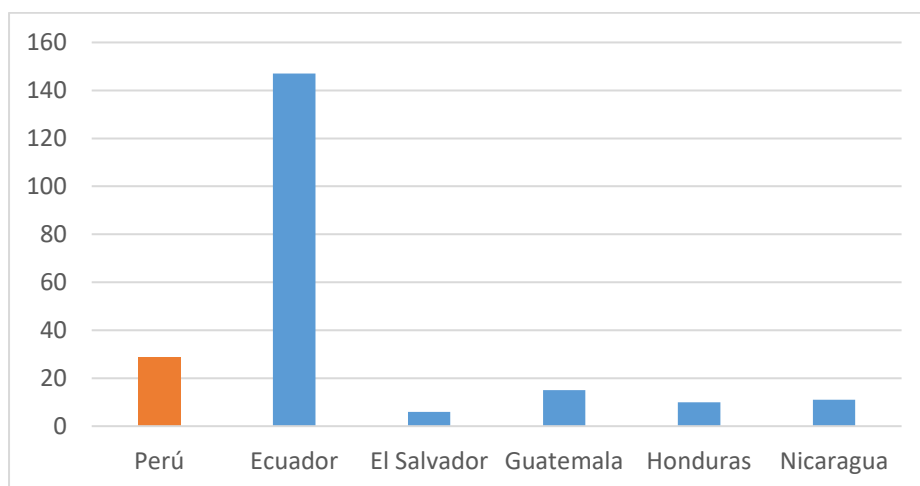


Figura 8. Número mediano de accesiones conservadas en BG/JC en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.

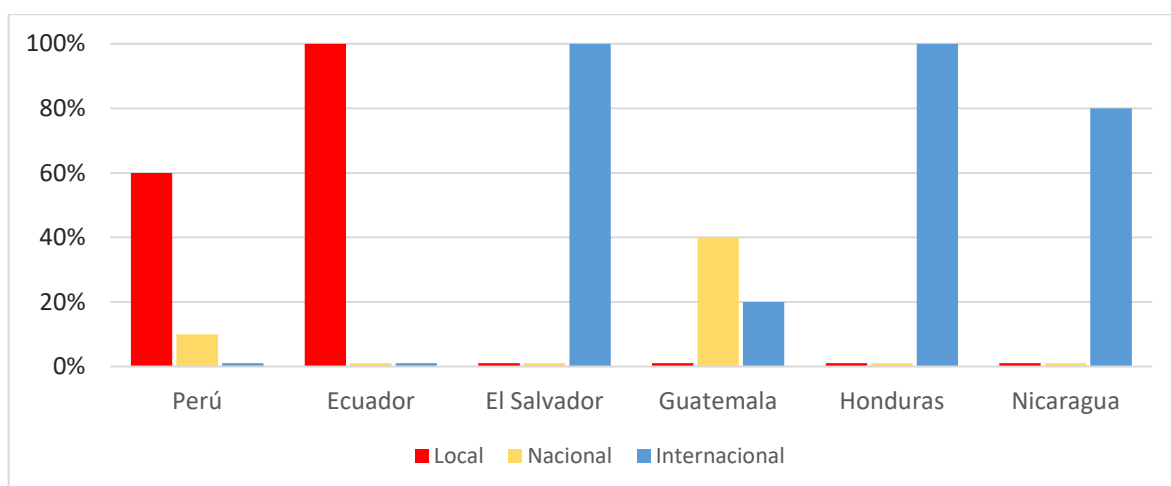


Figura 9. Porcentaje mediano del origen del germoplasma conservando en los seis países incluidos en el Proyecto MOCCA.

En cuanto a los niveles de caracterización, tanto Ecuador como El Salvador, Guatemala y Nicaragua presentan niveles similares a los de Perú. En general para las 5 categorías los valores promedios de caracterización se encuentran entre 30-60% para todos los países con excepción de Honduras, manifestándose también una deficiente caracterización genética molecular (Figura 10). Por su parte, Honduras presentó los valores más altos de caracterización en todas las categorías. Esto debido a que, por lo general sus BG/JC conservan variedades internacionales, las que están completamente caracterizados por los centros que las desarrollaron.

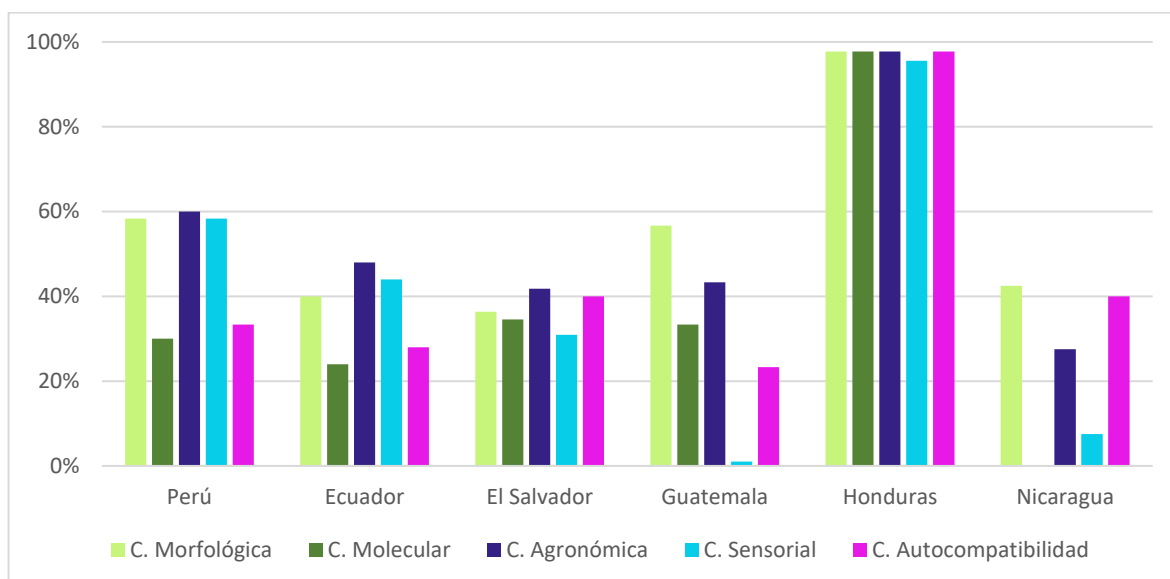


Figura 10. Caracterización de los materiales conservados en los 6 países incluidos en el Proyecto MOCCA.

Los resultados muestran que en Perú se conserva un número importante de diferentes genotipos, pero esta diversidad está irregularmente caracterizada y, es probable que todo su potencial aún no sea del todo conocido. Futuras inversiones deberían permitir completar los vacíos de información, sobre todo en términos de productividad y perfil sensorial, la cual parecería una opción de diferenciación para varias regiones del país. De esta manera se pueden seleccionar materiales que puedan ser directamente usados por los agricultores.

Por otro lado, el alto número de BG/JC existentes en el país, parecería apoyar la selección y uso de materiales específicos en cada departamento. De esta manera, es posible aprovechar mecanismos como los de Denominación de Origen otorgado por la Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). Sin embargo, el mercado que permita sacar ventaja de esto es aún muy pequeño a nivel global.

Por último, es importante mencionar que, debido a que la mayoría de las colectas de BG/JC son de un alcance regional, se hace necesario completar los vacíos de información en torno a la identidad genética de estos y su diversidad. De esta manera se optimizará el uso de los recursos de conservación, por la posibilidad de identificar duplicados dentro de las colecciones.

4.2 Compilación de información de caracterización de germoplasma de cacao

La constatación de la existencia de variedades promisorias en los BG/JC de Perú y un nivel bueno de caracterización (~60%) alentaron la decisión de compilar la información en un documento único a manera de catálogo. Los datos morfo-fisiológicos permiten distinguir los materiales, compararlos con otros y distinguir su identidad. De esta manera, se espera que esto sea de beneficio para el sector cacaotero nacional, dando a conocer nuevos materiales que respondan a las diferentes necesidades de los agricultores, visibilizando la rica diversidad genética del país y abriendo posibilidades para colaboraciones futuras.

En primer lugar, se preparó un documento preliminar el que fue usado para presentar el proyecto a los BG/JC. Se pactaron reuniones con cada uno de ellos invitándoles a participar, exponiendo los objetivos a cumplir y los beneficios que producirían. Así mismo se recibieron

los comentarios y recomendaciones para mejorar la propuesta inicial. Para la elección de los descriptores se revisó literatura científica y otros catálogos de cacao de la región. Se eligieron 39 descriptores, los cuales se agrupan en ocho categorías:

- i. Datos de pasaporte
- ii. Descriptores morfológicos de hoja
- iii. Descriptores morfológicos de flor
- iv. Descriptores morfológicos de fruto
- v. Descriptores morfológicos de semilla
- vi. Descriptores agronómicos
- vii. Descriptores sensoriales
- viii. Descriptores industriales

Así, se espera abarcar diferentes intereses tanto académicos, como productivos. En primer lugar, será de utilidad para estudios de diversidad y la identificación de los genotipos, permitiendo descubrir posibles replicas intra e inter BG/JC. Además, se indicará su comportamiento productivo y su perfil para la industria. Adicionalmente, será un esfuerzo por estandarizar los descriptores y sus métodos de medición. Pudiendo quedar como una guía de descriptores para su uso en el futuro. Finalmente, de esto se desprende la posibilidad de hacer un análisis de brecha de información en cuanto a caracterización, lo que permitirá poner énfasis en estos aspectos en futuros trabajos al respecto.

4.3 Análisis crítico de la experiencia y contribuciones

Las actividades descritas, en el marco del Proyecto MOCCA, permitieron establecer una línea base de BG/JC y viveros comerciales de cacao en seis países latinoamericanos. Por primera vez se describieron las características y evaluaron las capacidades de estos, con una metodología estandarizada. Además, está en preparación un catálogo que abarcará materiales distribuidos por todo el país, en el que se sintetizaran años de investigación y esfuerzos de varias instituciones tanto públicas, como privadas.

Los resultados de línea base obtenidos se circunscriben a la estadística descriptiva, es decir, no implican cálculos o análisis complejos. No obstante, es importante resaltar el trabajo realizado en el planeamiento de la encuesta, aún más al ser el primer análisis de este tipo para BG/JC y viveros en la región. También se ha de valorar los esfuerzos en la distribución de la encuesta, el despliegue de redes de contacto, coordinaciones y seguimiento, pues finalmente, en los seis países se colectaron 176 respuestas, de 149 instituciones diferentes, lo que representa en promedio el 50% del total de BG/JC y viveros de cada país. Por último, por la cantidad de información recolectada, su interpretación y síntesis en un documento único, también significó un reto importante. Diversas rondas de retroalimentación sucedieron entre el equipo técnico y los responsables del Proyecto MOCCA, para llegar al documento final.

En cuanto a la compilación de la información de caracterización, el proceso previo implicó la revisión de literatura actualizada de descriptores de cacao. Si bien no demandó mucho trabajo, sí fue importante la ponderación de los descriptores a usar. Era necesario un equilibrio entre el número de descriptores, y por lo tanto la cantidad de información a presentar, y la facilidad para ser medidos. En lo que resta del trabajo, nuevamente serán importantes el despliegue de redes de contacto, coordinaciones y seguimiento. Pero adicionalmente, exigirá mucha ética pues se estará accediendo a información de diferentes instituciones, las que se deben ser usadas solo para los fines del catálogo. De la misma manera, se está cuidando el dar los créditos respectivos (institucionales y personales) a quienes realizaron los trabajos previos de caracterización, que se están compilando.

En cuanto a la aplicación de los conocimientos y formación recibidos de la Facultad de Agronomía, cabe mencionar que, durante la elaboración de la encuesta y los análisis respectivos, han sido importantes las asignaturas relacionadas a cultivos tropicales, genética, mejoramiento vegetal, propagación de plantas, semillas, y la legislación asociada a estas. A estos hay que agregar botánica y fisiología, para los trabajos relacionados a la caracterización de cacao.

Por otro lado, se espera que las contribuciones de estos trabajos se den a diferentes niveles de la cadena del cacao. En primer lugar, se espera que los tomadores de decisiones, tanto del sector público como privado, puedan darse una idea de los BG/JC y viveros más idóneos

para ser sus socios en diferentes proyectos comerciales o de investigación y desarrollo, así como visibilizar la necesidad de inversión que tienen estos para mejorar sus capacidades. También se espera crear una red de instituciones dedicadas a la conservación, caracterización y distribución de materiales que trabajen de manera colaborativa, intercambio y probando en campo sus materiales, así como en la distribución de semilla de alta calidad genética, sanitaria y fisiológica a los agricultores, para facilitar procesos de instalación, renovación y rehabilitación de plantaciones. Junto con esto, adicionando los trabajos de caracterización, se espera evidenciar el estado de conservación de la diversidad de cacao en cada país, así como el nivel de caracterización, y las posibles variedades promisorias para su uso en programas de mejoramiento o directamente por los agricultores. Así mismo, se espera dar una guía metodológica para trabajos de caracterización en el futuro.

4.3.1 Competencias y habilidades desarrolladas

En primer lugar, se constata un crecimiento en los conocimientos técnicos relacionados al cultivo de cacao, y específicamente en su diversidad, origen y domesticación. Así mismo, conocimientos básicos del funcionamiento de bancos de germoplasma, jardines clonales y viveros también fueron obtenidos. Mas específicamente, se aprendió sobre la legislación relacionada a materiales de propagación y recursos genéticos, la caracterización de materiales de cacao y los atributos de los diferentes variedades o selecciones de cacao nativas e introducidas. Cabe destacar que lo mencionado no se limitó a un solo país, sino que aplica para los 6 países del proyecto MOCCA, por lo que también se aprendió de las diferentes realidades del sector cacaotero en las Américas. Se desarrollaron habilidades de síntesis y análisis, para encontrar similitudes y diferencias entre países, explicar sus motivos y valorar los aprendizajes de cada uno, buscando formas de adaptarlos a otras realidades si es que existiera la necesidad.

Por otro lado, se han desarrollado competencias relacionadas al trabajo en equipo, la capacidad crítica al momento de revisar los avances de los consultores regionales, así como la asertividad a la hora de dar retroalimentación. El nivel de interacción con actores, de diferentes sectores, desde técnicos de campo, hasta autoridades políticas, pasando por gerentes y académicos ha sido alta. Por lo que fue importante el desarrollo de habilidades de comunicación efectiva, de manera que se interesen por responder las encuestas y compartir su información de caracterización.

El trabajar con plazos y productos establecidos por los donantes, ha permitido también que se desarrollen habilidades de planificación y orden, en miras de hacer un trabajo cada vez más eficiente.

No se mencionan en el presente documento, pero también se aprendieron procesos técnicos específicos como la modelación de nicho o de distribución espacial de especies, la colecta, conservación y preparación de muestras para análisis de contenido de metales pesados y análisis moleculares, y la técnica de estudios de asociación genómica amplia (GWAS), que permite encontrar la relación entre una característica fenotípica con el genotipo del individuo.

Finalmente, se concluye que en este tiempo se han desarrollado conocimientos y competencias técnicas y científicas, así como de las llamadas habilidades blandas, que permitirán seguir contribuyendo en temas de recursos genéticos, específicamente de la conservación, caracterización y utilización de la diversidad de cacao, con el fin de contribuir al desarrollo del sector agrario del país.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el marco del Proyecto MOCCA, se han identificado en Perú 55 colecciones de germoplasma de cacao (46 *ex situ* y 9 *on farm*), las que activamente están contribuyendo a la conservación del cacao peruano. Estas albergan en su mayoría materiales locales y nacionales, con menor número de clones introducidos, con una mediana de 26 genotipos por colección.
- La caracterización de los materiales de cacao en BG y JC de Perú es adecuada en los aspectos morfológicos, de productividad y de perfil sensorial, teniéndose en promedio alrededor de 60% de los materiales caracterizados para estos atributos; sin embargo, es bastante deficiente en cuanto a la caracterización genética y a la compatibilidad sexual, que en promedio se encuentran en un 30%.
- En Perú, existe material promisorio para alto rendimiento, calidad sensorial superior y resistencia a enfermedades por lo menos en 15 BG/JC.
- Entre los seis países participantes del proyecto MOCCA, Perú presenta la mayor cantidad de colecciones y el segundo mayor número mediano de materiales en cada una, superado por Ecuador. Además, en estos países, las colecciones albergan un mayor número de cacaos con origen local o nacional, a diferencia de los países centroamericanos, en donde predominan los clones internacionales en los BG/JC.
- En cuanto a la caracterización de sus materiales, Perú presenta niveles similares a los demás países para las 5 categorías, con excepción de Honduras, en donde existe una caracterización casi completa para los materiales de sus BG/JC.
- Se recomienda la compilación de la información de caracterización de cacao peruano, de manera que pueda estar disponible para diferentes actores clave del sector.

- También se recomienda realizar caracterización molecular en las colecciones grandes de manera que se establezcan mejores colecciones núcleo, con un uso eficiente de los recursos. Mientras que, en los jardines clonales, en donde se evalúan materiales con fines de multiplicación comercial, se recomienda hacer un énfasis en la caracterización de compatibilidad sexual, por su importancia en la producción.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Karimu, A.; Butler, D. R.; Iwaro, A. D.; Sukha, D. A.; Bekele, F.; Mooleedhar, V.; Shripat, C. (2003). Farmers' perceptions of cocoa planting material and factors affecting the cocoa industry in Trinidad and Tobago. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 80: 261-266.
- Adriazola, J. (2003). Producción del alimento de los dioses (*Theobroma cacao* L). Huánuco, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Aime, M.C. y Phillips-Mora, W. (2006). The causal agents of witches' broom and frosty pod rot of cocoa (chocolate, *Theobroma cacao* L.) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycologia*, 97(5): 1012- 1022. doi: 10.3852/mycologia.97.5.1012
- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*, 605–606(October), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>
- Arévalo-Gardini, E.; García, L.; Krauss, U.; Ríos, R.; Zuñiga, L.; Adriazola, J. (1996). Mejoramiento genético para el control de enfermedades del cacao en el Perú. En: *Proceeding of the International Workshop on the Contribution of Disease Resistance to Cocoa Variety Improvement*. Simposio llevado a cabo por INGENIC. Bahía, Brasil.
- Arevalo-Gardini, E.; Meinhardt, L. W.; Zuñiga, L. C.; Arévalo-Gardni, J.; Motilal, L.; & Zhang, D. (2019). Genetic identity and origin of “Piura Porcelana”—a fine-flavored traditional variety of cacao (*Theobroma cacao*) from the Peruvian Amazon. *Tree Genetics and Genomes*, 15(1). doi: 10.1007/s11295-019-1316-y
- Arévalo-Hernández, C. O.; Arévalo-Gardini, E.; Barraza, F.; Farfán, A.; He, Z.; & Baligar, V. C. (2021). Growth and nutritional responses of wild and domesticated cacao genotypes to soil Cd stress. *Science of the Total Environment*, 763: 144021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144021.

- Arévalo-Hernández, C. O., He, Z., Arévalo-Gardini, E., Baligar, V., Zúñiga-Cernades, L. B., & Obando-Cerpa, M. E. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Bartley, B.G.D. (2005). *The genetic diversity of cacao and its utilization. Botany, production and uses*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Bekele, F. L. (1999). The role of characterization and preliminary evaluation data in the genetic improvement of cacao, *Proceedings of Agriculture in the Caribbean: Issues and Challenges*, 11: 18-26.
- Bekele, F. L., & Bekele, I. (1996). A sampling of the phenetic diversity in the International Cocoa Genebank of Trinidad. *Crop Science*. 36(1): 57–64. doi: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600010010x
- Bekele, F. L.; Bekele, I.; Butler, D. R.; & Bidaisee, G. G. (2006). Patterns of morphological variation in a sample of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm from the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(5): 933–948. doi: 10.1007/s10722-004-6692-x
- Bekele, F. L.; Bidaisee, G. G.; Singh, H.; & Saravanakumar, D. (2020). Morphological characterisation and evaluation of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad to facilitate utilisation of Trinitario cacao globally. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(3): 621–643. doi: 10.1007/s10722-019-00793-7
- CacaoNet. (2012). *A global strategy for the conservation and use of cacao genetic resources, as the foundation for a sustainable cocoa economy*. Montpellier, Francia: Bioversity International.
- CacaoNet. (2021). *Cacao collections*. Recuperado de: <https://www.cacaonet.org/cacao-collections>
- Céspedes-del Pozo, W.H.; Blas-Sevillano, R.; Zhang, D. (2017). Assessing genetic diversity of the native Chunchu cacao (*Theobroma cacao* L.) in La Convención, Cusco, Perú. En Laliberte, B. (Presidencia). *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*. Simposio de la International Cocoa Organization (ICCO). Lima, Perú.

- Cheesman, E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. *Tropical Agriculture*, 21: 144–159.
- Clement, C. R.; de Cristo-Araújo, M.; d'Eeckenbrugge, G. C.; Alves Pereira, A.; Picanço-Rodrigues, D. (2010). Origin and domestication of native Amazonian crops. *Diversity*, 2(1): 72–106. doi: 10.3390/d2010072
- Cornejo, O.E.; Yee, MC.; Dominguez, V.; Andrews, M.; Sockell, A.; Strandberg, E.; ... Motamayor, J.C. (2018). Population genomic analyses of the chocolate tree, *Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications Biology* 1: 167 doi: 10.1038/s42003-018-0168-6
- Donald, P. (2004). Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology*, 18(1): 17-37. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/3589112>
- Engels, J. M. M. (1986). The systematic description of cacao clones and its significance for taxonomy and plant breeding. (Tesis doctoral, Agricultural University, Wageningen). Recuperada de: <https://core.ac.uk/download/pdf/29368517.pdf>
- Engels, J. M. M. (1993). The use of botanical descriptors for cacao characterization. CATIE experiences. En: Proceedings of the international workshop on conservation, characterization and utilization of cacao genetic resources in the 21th Century. St. Augustine, Trinidad y Tobago.
- Enríquez, G. (1966). Selección y estudio de los caracteres de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Eskes, A. (2018). Large genetic diversity for fine-flavor traits unveiled in cacao (*Theobroma cacao* L.) with special attention to the native chuncho variety in Cusco, Peru. *Agrotrópica (Itabuna)*, 30(3): 157–174. doi: 10.21757/0103-3816.2018v30n3p157-174
- Farrell, A. D.; Rhiney, K.; Eitzinger, A.; Umaharan, P. (2018). Climate adaptation in a minor crop species: is the cocoa breeding network prepared for climate change? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42: 812–833. doi: 10.1080/21683565.2018.1448924

- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). FAO corporate statistical databases. Crops data for 2019. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Fondo Ítalo Peruano (FIP). (2016). Bagua y Utcubamba: relictos de cacao nativos peruanos. Lima, Perú: Fondo Ítalo Peruano.
- García, L. F. (1991). Mejoramiento genético. Cultivo moderno del cacao. (Theobroma cacao L.) del Perú. Huánuco, Perú.
- García, L. F. (2008). Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en Perú. Informe Final. Lima, Perú: M&O Consulting SAC
- García, L. F. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura.
- García, W. A. (2019). Caracterización diferencial dendrológica del cacao criollo – Theobroma cacao L. de Jaén y San Ignacio – Región Cajamarca. (Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Jaén). Recuperada de: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/69>
- Kaufman, T., & Justeson, J. (2007). The history of the word for cacao in ancient mesoamerica. *Ancient Mesoamérica*, 18(2). doi: 10.1017/S0956536107000211
- Henderson, J.S.; Joyce, R.A.; Hall, G.R.; Hurst, W.J.; McGovern, P.E. (2007). Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(48): 18937-18940. doi: 10.1073/pnas.0708815104
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2019). Manual de manejo agronómico del cacao nativo (Theobroma cacaoL.) en la región Loreto. Loreto, Perú: INIA.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). (1981). Genetic Resources of cocoa (AGP: IBPGR/80/56). Roma, Italia: IBPGR.
- International Cocoa Organization (ICCO). (2019). Fine or flavour cocoa. Recuperado de <http://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/>
- Iwaro, A. D.; Bharath, S. M.; Bekele, F. L.; Butler, D. R. (2005). Germplasm enhancement for resistance to black pod disease: strategy and prospects. *Proceedings of the 14th*

International Cocoa Research Conference, October 13- 18 2003. Conferencia llevada a cabo por la Cocoa Producers Alliance. Accra, Ghana.

Johnson, E. S.; Bekele, F. L.; Brown, S. J.; Song, Q.; Zhang, D.; Meinhardt, L. W.; & Schnell, R. J. (2009). Population structure and genetic diversity of the Trinitario cacao (*Theobroma cacao* L.) from Trinidad and Tobago. *Crop Science*, 49(2): 564–572. doi: 10.2135/cropsci2008.03.0128

Johnson, O.; Johnson, A. (1996). Matsigenka. *Encyclopedia of world cultures*. Recuperado de: <https://www.encyclopedia.com/humanities/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/matsigenka-0>

Korte, A., & Farlow, A. (2013). The advantages and limitations of trait analysis with GWAS: a review. *Plant Methods*, 9: 29. doi: 10.1186/1746-4811-9-29

Lachenaud, P.; Oliver, G.; Letourmy, P. (2000). Agronomic assessment of wild cocoa (*Theobroma cacao* L.) trees from the Camopi and Tanpok Basins (French Guiana). *Plant Genetic Resources Newsletter*, 124: 1-6. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/315662141_Agronomic_assessment_of_wild_cocoa_Theobroma_cacao_L_trees_from_the_Camopi_and_Tanpok_basins_French_Guiana

Lahive, F.; Hadley, P.; Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39: 5. doi: 10.1007/s13593-018-0552-0

Lewis, C.; Lennon, A. M.; Eudoxie, G.; & Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 640–641: 696–703. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.365

Loor Solorzano, R.G.; Fouet, O.; Lemainque, A.; Pavék, S.; Boccara, M.; Argout, X.; ... Lanaud, C. (2012). Insight into the wild origin, migration and domestication history of the fine flavour Nacional *Theobroma cacao* L. variety from Ecuador. *PLoS One* 7: e48438. doi: 10.1371/journal.pone.0048438

Lubke, C. (2020). Cadmium in Peruvian cacao: framing the problem and investigating solutions. *Bioveristy International*. Recuperado de: <https://www.biodiversityinternational.org/news/detail/cadmium-in-peruvian-cacao-framing-the-problem-and-investigating-solutions/>

- McElroy, M. S.; Navarro, A. J. R.; Mustiga, G.; Stack, C.; Gezan, S.; Peña, G.; ... Motamayor, J. C. (2018). Prediction of cacao (*Theobroma cacao*) resistance to moniliophthora spp. diseases via genome-wide association analysis and genomic selection. *Frontiers in Plant Science*, 9: 343. doi: 10.3389/fpls.2018.00343
- MINAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2020). Observatorio de Commodities: Cacao julio – setiembre 2020.
- Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas (MOCCA). (2020). Los bancos de germoplasma y jardines clonales de cacao en Perú. Boletín Técnico No. 1.
- Medina, V.; Laliberte, B. (2017). A review of research on the effects of drought and temperature stress and increased CO₂ on *Theobroma cacao* L., and the role of genetic diversity to address climate change. Costa Rica: Bioversity International.
- MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas). (2021). Los bancos de germoplasma y jardines clonales de cacao en Honduras. Boletín Técnico N° 1 – Honduras
- MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas). (2021). Los bancos de germoplasma y jardines clonales de cacao en Nicaragua. Boletín Técnico N° 1 – Nicaragua
- MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas). (2021). Los bancos de germoplasma y jardines clonales de cacao en Perú. Boletín Técnico N° 1 – Perú
- MOCCA (Maximizando Oportunidades en Café y Cacao en las Américas). (2021). Los bancos de germoplasma y jardines clonales del Ecuador. Boletín Técnico N° 1 – Ecuador
- Motamayor, J. C.; Lachenaud, P.; da Silva e Mota, J. W.; Loor, R.; Kuhn, D. N.; Brown, J. S.; & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, 3(10): e3311. doi: 10.1371/journal.pone.0003311

- Motamayor, J. C.; Risterucci, A. M.; Heath, M.; Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89: 380- 386. doi: 10.1038/sj.hdy.6800156
- Motamayor, J. C.; Risterucci, A. M.; Heath, M.; Lanaud, C. (2003). Cacao domestication II: progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity*, 91: 322-330. doi: 10.1038/sj.hdy.6800298
- Motilal, L. A.; Zhang, D.; Umaharan, P.; Mischke, S.; Mooleedhar, V.; & Meinhardt, L. W. (2010). The relic Criollo cacao in Belize - Genetic diversity and relationship with Trinitario and other cacao clones held in the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Plant Genetic Resources: Characterisation and Utilisation*, 8(2): 106–115. doi: 10.1017/S1479262109990232
- N’Goran, J. A. K.; Laurent, V.; Risterucci, A. M.; Lanaud, C. (2000). The genetic structure of cocoa populations (*Theobroma cacao* L.) revealed by RFLP analysis. *Euphytica*, 115: 83–90. doi: 10.1023/A:1003980411485
- Olivera-Nuñez, Q. (2018). Jaén. Arqueología y turismo. Lima, Perú: Yanápay Andina Consultores SAC
- Osorio-Guarín, J. A.; Berdugo-Cely, J. A.; Coronado-Silva, R. A.; Baez, E.; Jaimes, Y.; & Yockteng, R. (2020). Genome wide association study reveals novel candidate genes associated with productivity and disease resistance to *Moniliophthora* spp. in cacao (*Theobroma cacao* L.). *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 10(5): 1713–1725. doi: 10.1534/g3.120.401153
- Ostendorf, F.W. (1957). Identifying Characters for Cacao Clones. Bahia, Brasil: Imprensa Oficial da Bahia
- Phillips Mora, W.; Arciniegas Leal, A.; Mata Quirós, A.; Motamayor Arias, J. C. (2012). Catálogo de clones de cacao seleccionados por el catie para siembras comerciales. Recuperado de http://www.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/phillipsmora2012clones4.64mb.pdf
- Pound, F.J. (1943). Cacao and witches' broom disease. Report on a recent visit to the Amazon territory of Peru, September 1942-February 1943. *Archives of Cocoa Research* 1: 73-91.

- Pound, F.J. (mayo, 1945). A note on the cocoa population of South America. En Report and Proceedings of the 1945 Cocoa Conference. Londres, Reino Unido.
- Powis, T.G.; Cyphers, A.; Gaikwad, N.W.; Grivetti, L.; Cheong, K. (2011). Cacao use and the San Lorenzo Olmec. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108: 8595–8600. doi: 10.1073/pnas.1100620108
- Rojas, R.; Rodríguez, C.; Ruiz, C.; Portales, R.; Neyra, E.; Patel, K; ... Hurtado, J. (2017). Cacao Chuncho del Cusco. Lima, Perú: Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Romero Navarro J. A.; Phillips-Mora, W.; Arciniegas-Leal, A.; Mata-Quirós, A.; Haiminen, N.; Mustiga, G.; ... Motamayor, J. C. (2017). Application of genome wide association and genomic prediction for improvement of cacao productivity and resistance to black and frosty pod diseases. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1905. doi: 10.3389/fpls.2017.01905
- Scaccabarozzi, D., Castillo, L., Aromatisi, A., Milne, L., Castillo, A. B., & Muñoz-Rojas, M. (2020). Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils. *Agronomy*, 10(6), 1–15. doi: 10.3390/agronomy10060806
- Steffan-Dewenter, I.; Kessler, M.; Barkmann, J.; Bos, M. M.; Buchori, D.; Erasmi, S.; ... Tschardtke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12): 4973-4978. doi: 10.1073/pnas.0608409104
- Sukha, D. A.; Butler, D. R. (2005). The CFC/ICCO/INIAP Cocoa Flavour Project - Investigating the spectrum of fine flavour within genotypes and between origins. *INGENIC Newsletter*, 10: 22-25.
- The European Commission. (2014). Commission Regulation (EU) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs.
- Thomas, E.; van Zonneveld, M.; Loo, J.; Hodgkin, T.; Galluzzi, G.; & van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS ONE*, 7(10): e47676. doi: 10.1371/journal.pone.0047676

- Turnbull, C. J.; Butler, D.; Cryer, N.; & Daymond, A. (2004). Tackling mislabelling in cocoa germplasm collections. *Ingenic Newsletter*, 9: 8-11. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/273699373_Tackling_mislabelling_in_cocoa_germplasm_collections/link/5519ad130cf2f51a6fea20f3/download
- Wiegel, J.; Del Río, M.; Gutiérrez, J. F.; Claros, L.; Sánchez, D.; Gómez, L.; ... Reyes, B. (2020). *Sistemas de mercado de café y cacao en las Américas: oportunidades para apoyar la renovación y la rehabilitación*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Wood, G. A. R.; Lass, R. A. (Eds). (2001). *Cocoa* (4° ed.). Londres, Reino Unido: Longman Scientific and Technical.
- Zarrillo, S.; Gaikwad, N.; Lanaud, C.; Powis, T.; Viot, C.; Lesur, I.; ... Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology and Evolution*, 2(12): 1879–1888. doi: 10.1038/s41559-018-0697-x
- Zhang, D.; Boccara, M.; Motilal, L.; Mischke, S.; Johnson, E. S.; Butler, D. R.; ... Meinhardt, L. (2009). Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from Upper Amazon using microsatellite DNA markers. *Tree Genetics and Genomes*, 5(4): 595–607. doi: 10.1007/s11295-009-0212-2
- Zhang, D.; Gardini, E. A.; Motilal, L. A.; Baligar, V.; Bailey, B.; Zuñiga-Cernades, L.; ... Meinhardt, L. (2011). Dissecting genetic structure in farmer selections of *Theobroma cacao* in the Peruvian Amazon: implications for on farm conservation and rehabilitation. *Tropical Plant Biology*, 4(2): 106–116. doi: 10.1007/s12042-010-9064-z
- Zug, K.L.M.; Yupanqui, H.; Meyberg, F.; Cierjacks, J.S.; Cierjacks, A.; (2019). Cadmium accumulation in Peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution* 230: 72. doi: 10.1007/s11270-019-4109-x