

Factsheet: Datos botánicos de cacao

Theobroma cacao L.



Proyecto

Desarrollo de monografías botánicas (factsheets) para tres cultivos peruanos

Autores: Nicolas Dostert, José Roque, Asunción Cano, María I. La Torre y Maximilian Weigend

Traducción: Federico Luebert

Fecha: Octubre 2011

Documento: D38/08-19

Foto de la carátula: PDRS-GIZ Sede Piura

botconsult GmbH

Fidicinstr. 11, D-10965 Berlin, Alemania

Tel.: +49 (30) 817970 46

Fax: +49 (30) 817970 49

E-Mail: info@botconsult.de

Museo de Historia Natural

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Avda. Arenales 1256, Jesús María. Apartado Postal 14-0434

Tel.: (511) 471-0117, 470-4471, 470-7918, Fax: (511) 265-6819

E-Mail: acanoe@unmsm.edu.pe; ashuco@yahoo.com



I. BOTÁNICA

Género. *Theobroma* pertenece a la familia Malvaceae, subfamilia Sterculioideae (antes Sterculiaceae) y comprende 22 especies en seis secciones (10, 50, 54). Todas las especies crecen bajo el dosel de bosques tropicales lluviosos. El área de distribución natural se extiende desde la cuenca del Amazonas por el sur hasta la región meridional de México (18°N a 15°S) (46). Su centro de diversidad se encuentra en la región amazónica en lo que hoy es Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia (27, 59, 60). Las especies del género *Theobroma* son árboles ramificados con hojas simples y con un fruto indehisciente carnoso (mazorca). El género relacionado *Herrania* forma pequeños árboles no ramificados con hojas palmaticompuestas. Todo el cacao que se cultiva para el mercado mundial se obtiene de formas de la especie *Theobroma cacao* L. Otras especies de *Theobroma* son cultivadas y utilizadas sólo localmente.

Morfología. *Theobroma cacao* es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12(—20) m de altura, y en cultivo se mantienen normalmente a 4—8 m (10, 16, 21). El tallo es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes (43). La corteza es oscura, gris-café. Las ramas son cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas (o cartáceas) simples, enteras (o ligera e irregularmente sinuadas), angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, 17—48(—60) cm de largo y 7—10(—14) cm de ancho, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada, ápice largamente apiculado. El pecíolo es de 14—27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. Las inflorescencias son caulinares y cimosas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y (5—)10—20 mm de diámetro; el pedúnculo floral es de 1—3 cm de largo. Los sépalos son (verdosos) blancos o rosa claros, 5—8 mm de largo, 1.5—2 mm de ancho, angostamente lanceoladas, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, 6—9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos (tres) nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineares; cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios; todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo; los estambres fértiles son de 2,5—3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5—7.5 mm de largo. El ovario es de 2—3 mm de largo, anguloso-ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6—12(—16) óvulos por fila. El fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, 10—20(—35) cm de largo y ca. 7 cm ancho, 200—1000 gr de peso y con 5—10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4—8 mm de grosor, duro y carnoso, y leñoso en estado seco. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas, ca. 20—30(—50) mm de largo, 12—16 mm de ancho y 7—12 mm de grosor. En el Herbario San Marcos (USM), de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, se ha depositados dos (2) muestras de cacao blanco: Muestra 1 N° USM 252252 del Centro Poblado La Pareja, parcela de Ramón Huachez y Muestra 2 N° USM 252253 del Centro Poblado Virgen del Carmen, parcela de Tito Chinguel, del departamento de Piura.

Taxonomía. La sistemática de la especie *Theobroma cacao* ha sido relativamente bien investigada y la especie está claramente delimitada. Aún hay preguntas abiertas con relación a la filogenia de los géneros *Theobroma* y *Herrania*, así como sobre algunas secciones dentro de los géneros (20, 54). La posición sistemática exacta y el contexto evolutivo de *Theobroma cacao* dentro del género *Theobroma* no han sido aún completamente clarificados (4, 20, 46, 47).

Variabilidad. La especie *Theobroma cacao* comprende una gran variedad de formas y poblaciones muy diferentes (27, 60). La especie se origina probablemente en la parte superior

del territorio amazónico, incluyendo Perú, pero fue domesticada primero en Mesoamérica (9, 40, 58). Para la caracterización de las formas y cultivares se utilizan hoy en día, aparte de características morfológicas (por ejemplo, flores), características agronómicas (por ejemplo, resistencia a enfermedades, forma del fruto y tamaño del grano) y moleculares (isoenzimas), así como también, frecuentemente, marcadores genéticos (RAPD, AFLP) (12, 19, 33, 41, 53, 57, 59). Los programas de mejoramiento están, hasta hoy, dirigidos a un aumento de los rendimientos y a una mayor resistencia a plagas; principalmente, se han aprovechado efectos de heterosis después del cruce de individuos de diferentes linajes genéticos (37).

Las formas de cacao se clasifican tradicionalmente en tres grupos genéticos: *Criollo*, *Forastero* y *Trinitario*; sin embargo, nuevos estudios han mostrado que esta clasificación no describe suficientemente la variabilidad de la especie (27). Particularmente, el grupo *Forastero* abarca una alta variabilidad genética, mientras que las formas *Criollo* son genéticamente más estrechamente definidas. El grupo *Trinitario* comprende híbridos entre los dos primeros grupos. La mayoría de las formas de cacao cultivadas mundialmente hoy en día son híbridos de orígenes mixtos que no pueden ser completamente incluidos dentro de esta división clásica. Un estudio reciente basado en datos moleculares clasifica las formas conocidas en 10 conglomerados principales o grupos (37). La delimitación clásica de grupos, ya sin base científica, puede resumirse de la siguiente manera:

Criollo: Las formas Criollo fueron probablemente domesticadas primero por los Mayas hace más de 3000 años (27, 35, 40, 61). Hasta la mitad del siglo XVIII esta era la forma de cacao más frecuentemente cultivada. El cacao Criollo comprende árboles delgados; los frutos tienen típicamente una cubierta delgada y escultrada y una pigmentación rojiza. Las formas Criollo muestran signos de depresión endogámica y, frecuentemente, más bajos rendimientos y mayor susceptibilidad a plagas. En países de habla hispana de América "Criollo" es frecuentemente traducido como "nativo" y comprende no sólo las formas típicas de Criollo, sino además todos los cultivares tradicionales. El cultivo comercial se desarrolla principalmente en las áreas de origen, en Venezuela, México, Nicaragua, Guatemala y Colombia. El 5—10 % de la producción mundial de cacao se origina de las formas Criollo (45).

Forastero: Las formas Forastero son originarias de la cuenca superior del Amazonas y comprenden las formas de cacao que no son Criollo ni de origen híbrido (27, 40, 45). Se caracteriza principalmente por su fruto verde, una cubierta del fruto (pericarpo) gruesa, un mesocarpo fuertemente lignificado, semillas redondeadas y ligeramente aplanadas y cotiledones de color violeta. La mayoría del cacao que se cultiva en Brasil, África Occidental, América Central y el Caribe pertenece a este grupo. Con cerca del 80% de la producción mundial de cacao, el grupo de cultivares Forastero es el grupo comercialmente más importante.

Trinitario: Estas formas de cacao son de origen híbrido entre formas *Criollo* y *Forastero*, las que desde mediados del siglo XVIII han surgido en los territorios de cultivo de cacao (40, 45). El grupo es correspondientemente muy heterogéneo genéticamente y, morfológicamente, muy polimorfo, no siendo posible delimitarlo a través de características comunes. Las plantas son normalmente muy robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas violeta claro a violeta oscuro. El 10—15 % de la producción mundial de cacao se origina en las formas Trinitario.

En la literatura botánica sistemática se reconocen paralelamente dos subespecies dentro de *Theobroma cacao*: *Theobroma cacao* L. subsp. *cacao* y *Theobroma cacao* L. subsp. *sphaerocarpum* (Chev.) Cuatrec. Razas y cultivares de la subespecie *cacao* forman el grupo *Criollo*, mientras que la subespecie *sphaerocarpum* corresponde al grupo *Forastero*.

Tabla 1: Delimitación de las subespecies de *Theobroma cacao* (10)

Órgano	<i>T. cacao</i> subsp. <i>cacao</i>	<i>T. cacao</i> subsp. <i>sphaerocarpum</i>
Forma del fruto	Alargado, claviforme, fusiforme o anguloso-ovado, atenuado hacia la base y apicalmente apiculado.	Elíptico, casi esférico o más o menos cuadrangular, redondeado en ambos extremos.
Superficie del fruto	Más o menos con 10 costillas marcadas o con 5 costillas y rugosa.	10-surcada y lisa o ligeramente rugosa.
Pericarpio y mesocarpio	Pericarpio moderadamente grueso, mesocarpio leñoso delgado.	Pericarpio muy delgado, mesocarpio leñoso grueso.
Semillas	Ovadas o elípticas, normalmente redondas en vista transversal.	Ovadas, más o menos comprimidas.
Cotiledones	Amarillos o blanco-amarillentos.	Púrpuras o violeta oscuros.

Se estima que mundialmente alrededor del 70% de los árboles de cacao son cultivares tradicionales y sólo cerca de un 30% son variedades seleccionadas (5). Como cultivares tradicionales se consideran todas las formas de cacao que se cultivaban hasta ca. 1950. En los años 30 y 40 se realizaron colectas extensivas en la porción superior del territorio amazónico que fueron utilizadas como bases para un programa de propagación (principalmente en Trinidad y Tobago). Los cultivares que se desarrollaron ahí se han expandido mundialmente (36, 59). El cultivo de cacao en Perú comenzó en el siglo XVIII. En ese tiempo se introdujeron en Perú cultivares desde el Caribe, América Central y Ecuador (60). Hoy en día se cultivan en Perú los cultivares tradicionales e híbridos de formas peruanas de *Forastero* con cultivares que se introdujeron en la segunda mitad del siglo XX. Estas familias de híbridos se han extendido a varios territorios de cultivo de cacao en Perú. Las formas cultivadas muestran por lo tanto una alta variabilidad genética. Un estudio con 220 productores de cacao en el valle de Huallaga en Perú mostró una alta variabilidad genética dentro de las plantaciones de productores individuales y documentó que las formas utilizadas son híbridos de las formas *Trinitario* y *Forastero* de la cuenca superior del Amazonas.

En la zona norte del país existe una variedad denominada “porcelana” por el color blanco de las semillas (cacao blanco), caracterizada por presentar una marcada uniformidad fenotípica en el color de la mazorca, arquitectura del árbol, sabor a panela/malta, y susceptibilidad a la “pudrición parda” y “moniliasis” (34). Esta variedad se cultiva en las provincias de Morropón y Huancabamba (Piura), y su origen probablemente se remonta a una variedad criolla que se cultiva en la zona vecina de San Ignacio (Cajamarca). Esta hipótesis del origen cajamarquino se apoya en las similitudes morfológicas de frutos y semillas de ambos cultivares, así como por

argumentos históricos y de comportamiento migratorio del poblador andino-amazónico (23). Esta variedad obtuvo el primer lugar en el V Concurso Nacional de Cacao realizado en Lima en julio del 2011, debido principalmente a “su buen sabor, acidez frutal, toques florales, gusto a buen chocolate, color muy atractivo y sabor agradable” (29).

La denominación de “cacao nativo” es muy ambigua y es usada en todos los lugares donde se cultiva. Siendo la cuenca amazónica el centro de origen y diversidad genética del cacao, no es apropiado el uso del término “nativo” por un determinado país o ciudad (22). Los estudios existentes en el Perú se refieren mayormente a “cacao porcelana o blanco” (24).

Hibridación. La hibridación es posible tanto entre diferentes formas dentro de la especie como también entre especies diferentes del género *Theobroma*. Hibridación interespecífica e injertos son considerados como estrategias potenciales para el desarrollo de nuevos cultivos (resistentes) de cacao. (46). Una hibridación es posible entre especies estrechamente relacionadas, como también entre especies de diferentes secciones del género *Theobroma*. Hibridación intraespecífica, especialmente sobre la base de clasificaciones moleculares de la diversidad del cacao, se ha utilizado para el desarrollo de nuevas variedades (37). Híbridos naturales son extremadamente escasos, lo que probablemente se debe a un eficiente sistema de aislamiento reproductivo y a una reducida distribución simpátrica de las especies (10).

II. CARACTERES DIAGNÓSTICOS Y POSIBLES CONFUSIONES.....

Theobroma cacao es una especie característica dentro del género *Theobroma* y es la única especie de la sección *Theobroma*, una de las seis secciones del género (Cuatrecasas 1964). Caracteres diferenciales son las hojas coriáceas con nerviación pinnada regular, con un nervio medio prominente y 9—12 nervios secundarios en ambos lados; el pericarpo grueso ya carnoso, las flores frecuentemente blancas, los verticilos pentámeros de las ramas laterales (horqueta, todas las otras especies del género poseen verticilos trímeros) y los estambres bianteríferos (trianteríferos en las otras especies de cacao). Además, sólo *Theobroma cacao* posee altas cantidades de teobromina y cafeína en las semillas maduras (54).

Como otras especies silvestres del género en Perú se indican *T. glaucum*, *T. grandiflorum*, *T. obovatum*, *T. sinuosum*, *T. speciosum* y *T. subincanum*. Ya que sólo las formas de cultivo de *T. cacao* son relevantes para el cultivo, una discusión sobre la delimitación de las especies es aquí innecesaria.

III. DISTRIBUCIÓN.....

Distribución mundial. El área de distribución natural de *Theobroma cacao* se extiende desde la región de la cuenca del Amazonas y las Guayanas hasta el sur de México (10, 43). Después de la llegada de los europeos a América, el cultivo del cacao se ha expandido al Caribe, Asia y África y es hoy día pantropical, principalmente cultivado entre 10°N y 10°S (1, 7, 17, 21, 28, 30, 31). Los productores más importantes son Costa de Marfil, Ghana e Indonesia.

Distribución en Perú. La ocurrencia de *Theobroma cacao* en Perú se ha documentado para ocho departamentos (Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Piura y San Martín) entre los 0—500 msnm, aunque es posible que hayan más departamentos implicados que tengan el hábitat adecuado, como Ayacucho, Pasco y Ucayali (6).

IV. ECOLOGÍA Y POSIBLES ÁREAS PARA EL CULTIVO.....

Hábitat. El hábitat natural del cacao es el interior de bosques lluviosos (sub-)tropicales sudamericanos. El hábitat comprende zonas subtropicales secas a húmedas así como zonas tropicales muy secas a húmedas (15). El cacao se cultiva normalmente a elevaciones bajo los 300 msnm, y en ambientes boscosos especialmente abrigados de Colombia puede alcanzar elevaciones de hasta 900 msnm.

Clima. La temperatura y precipitación son los factores más importantes para el desarrollo óptimo de las plantas de cacao. Las plantas reaccionan en forma muy sensible a la cantidad de agua en el suelo y son susceptibles a la sequedad (3). El cultivo requiere lluvias uniformemente repartidas a lo largo del año de un total de 1500—2000(—2800) mm (27). Las temperaturas mínimas medias son de 18—21 °C, las máximas de 30—32 °C (30). Las temperaturas mínimas absolutas son de 10 °C, por debajo de las que las plantas reciben daño (16). Bajo condiciones climáticas como, por ejemplo, las de África occidental, el cacao puede resistir periodos secos de hasta 3 meses (con precipitaciones < 100 mm). Las condiciones climáticas particulares en Ecuador permiten cultivar cacao en lugares incluso con periodos secos de hasta 5-6 meses; sin embargo las temperaturas son aquí en promedio más bajas, la humedad del aire más alta y el cielo está normalmente nublado durante los periodos secos.

Crecimiento. 3—4 días después de la siembra de las semillas, se ve normalmente la emergencia de raíces primarias o pivotantes blanquecinas, las que después de 15—20 días alcanzan una profundidad de 10—15 cm (16, 27). Las plántulas muestran primero un crecimiento no ramificado hasta una altura de 1—2 m, antes de que la primera ramificación toma lugar. El tallo principal es corto y se ramifica en verticilos (3-)5meros ("horquetero") (2, 40). Los ejes crecen vertical ("chupones") u horizontalmente ("fans"). En plantas juveniles, los nuevos ejes verticales se pueden originar en cualquier posición del eje principal. Normalmente, estos se forman debajo de la primera horqueta. Las plantas adultas forman a veces nuevos "chupones" en ejes verticales bien desarrollados. Las plantas de cacao obtenidas de semilla están completamente desarrolladas después de ca. 10 años. Las plantas comienzan a florecer y fructificar después de 3—4 años desde la siembra. La cosecha máxima se alcanza después de 6—7 años. Incluso cuando las plantas de cacao pueden alcanzar 20 m de altura en condiciones deficientes de luz, en cultivo alcanzan normalmente sólo 4—8 m de altura. Las hojas se forman en 4—5 fases de despliegue foliar y alcanzan su actividad fotosintética total en 4—5 meses. Después de 1 año, en promedio, caen. El sistema radicular pivotante alcanza una profundidad de 120—200 cm.

Biología floral. Las primeras flores aparecen en el tallo de las plantas de cacao uno o dos años después de que el tallo se ha lignificado. Las flores forman inflorescencias que se originan a partir de botones axilares de las hojas caducas. Las plantas adultas de cacao pueden, dependiendo de las condiciones climáticas, producir flores y frutos durante todo el año, cuando no se presentan periodos secos extremos o oscilaciones térmicas muy pronunciadas (16, 27,

38). Normalmente, las plantas muestran uno o dos periodos de mayor fructificación. El cacao produce una gran cantidad de flores, de las que sólo un 0.5—5% son polinizadas y producen frutos (2). Casi el 60 % de las flores cae después de 48 h sin ser fertilizadas. La apertura de los botones se produce generalmente en la tarde y la antesis finaliza a la mañana siguiente. El cacao tiene polinización cruzada (xenogámico) y posee un complejo sistema de autoincompatibilidad (40). En cultivo, sin embargo, las plantas pueden a veces ser autocompatibles (37). La polinización es relativamente inespecífica, i.e. es realizada por varios insectos, por ejemplo trips, hormigas, áfidos y mosquitos pequeños. Después de una polinización exitosa, la fructificación se inicia dentro de 36 horas, los pétalos se caen y después de 72 horas los ovarios ya están hinchados. La autoincompatibilidad puede manifestarse incluso unas semanas después de la fructificación, llevando a la caída de los frutos. La duración del desarrollo del fruto es 150—180 días hasta que está totalmente maduro y depende principalmente del cultivar y la procedencia.

Región de cultivo. El cacao se cultiva mundialmente entre los 20 °N y 20 °S (16). El territorio principal de cultivo se encuentra entre los 10 °N y 10 °S. Por lo tanto, toda la región de tierras bajas orientales de Perú tiene potencial para el cultivo de cacao. El área más apta se encuentra seguramente en los departamentos amazónicos centrales y septentrionales, en un rango de elevación de 0—500 msnm.

V. CULTIVO Y EXPLOTACIÓN.....

Suelo. El cacao puede ser cultivado en diferentes tipos de suelo. Generalmente necesita suelos profundos, livianos y ricos en nutrientes. El perfil de suelo debe alcanzar una profundidad de 1(—1.5) m, para que la raíz pivotante y todo el sistema radicular pueda formarse bien (30). Además, las plantas de cacao no toleran el anegamiento ni la sequedad. Los suelos no deben, por lo tanto, contener capas impermeables, pero tienen que poseer una buena capacidad de almacenamiento de agua. Las inundaciones son toleradas por las plantas sólo hasta un cierto punto. Los suelos permeables arcillo-arenosos son ideales, con ca. 50% arena, 30—40% arcilla, 1—2 % limo y una proporción relativamente alta de materia orgánica (> 3.5%) (27). Los suelos arenosos cercanos a la costa no son tolerados. Las plantas de cacao toleran un pH del suelo de 5.0—7.5 (óptimo 6.5—7.5), lo que significa que toleran suelos ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos. En suelos muy ricos en nutrientes pueden tolerar también valores de pH más bajos. Valores de suelo y nutrientes ideales son una relación C:N de >9 y una relación N:P de ca. 1.5. Esenciales para un buen crecimiento son, además, una disponibilidad de fósforo de 8 ppm y una concentración suficiente de micronutrientes como calcio (8 ppm), potasio (0.24 ppm) y magnesio (2 ppm).

Propagación generativa. La forma más fácil y económica de propagar el cacao es por medio de semillas (15, 52). Semillas maduras tienen, sin embargo, sólo un corto periodo viable y no se deben secar. Una desventaja de la propagación por semillas es la predominancia de la polinización cruzada y la resultante variabilidad de la progenie. Algunos cultivares (*Ameloado* y algunas formas de *Criollo*) son, sin embargo, autocompatibles y pueden ser propagados con identidad varietal a través de semillas (27). Las semillas se sacan del fruto carnoso, por lo general, inmediatamente después de la cosecha y se siembran en viveros sombreados. Las semillas pueden también ser sembradas directamente en la plantación, en cuyo caso deben ser protegidas con mallas plásticas alrededor. La siembra en vivero se realiza en sustratos de

siembra de turba y perlita, o en humus. La siembra se realiza con el hilum de las semillas hacia abajo, en una profundidad de ca. 10—20 mm. Las macetas de siembra deben ser de al menos 5 x 5 x 12 cm. También se puede sembrar en bolsas plásticas (20 x 12 cm con hoyos). La germinación ocurre generalmente en pocos días, dependiendo de la temperatura. La tasa de germinación de semillas frescas es de ca. 90%. Una disponibilidad de agua suficiente, sombra y protección del viento son importantes para el crecimiento de las plántulas. Además, las plantas son sensibles a la sobrefertilización. El primer trasplante se realiza normalmente cuando las plántulas han alcanzado un tamaño de 0.6 m. Las plantas juveniles pueden mantenerse en vivero hasta por 12 meses en macetas de tamaño adecuado, antes de ser llevadas a la plantación; sin embargo, la plantación toma lugar, generalmente, 4—5 meses después de la siembra.

Propagación vegetativa. El cacao puede ser propagado con identidad varietal, de manera vegetativa, vía injerto, sobre un patrón apropiado, esquejes, acodos o también mediante cultivo de tejidos (40). En general, las plantas de cacao que se han propagados mediante vástagos o estacas de tallos horizontales se desarrollan en árboles profusamente ramificados, mientras que esquejes obtenidos de ejes verticales muestran, por el contrario, un crecimiento similar al de plantas propagadas por semilla (27). Para la propagación por esquejes se utilizan esquejes de tallos con 2—5 hojas o dos yemas (52). Para esquejes de hoja, la hoja se divide por la mitad y la estaca se hace enraizar bajo malla plástica. Para acodos se forma una nueva planta de uno de los ejes de la planta. Para ellos se desprende un trozo de la corteza, y ese lugar se envuelve en plástico con aserrín, turba o un medio similar. La parte envuelta enraíza lentamente. Después del enraizamiento se separa el eje de la planta madre y se planta. El método es bastante laborioso pero es muy simple de realizar y no necesita, en comparación con el injerto, un cultivo de plantas juveniles. También se han desarrollado métodos para el cultivo de tejido de cacao, pero hasta ahora no se han empleado de manera masiva.

Especialmente importante es la propagación por injertos en patrones adecuados: en injertos de yema se extrae cuidadosamente una yema con un trozo de corteza (> 2.5 x 0.5 cm), normalmente de un chupón (eje vertical) y se coloca en otra planta. Para evitar la pérdida de humedad, la yema se fija a la planta con rafia y cinta de injerto y el lugar del injerto se sella con cera de injerto (13). Como patrón se usan normalmente plántulas de 60-90 días de edad. Después de cerca de 3 semanas, cuando el "ojo" se ha injertado completamente, se remueve la cinta con la cera y se poda completamente la parte antigua del patrón por arriba de la posición del injerto. Este método no puede ser utilizado cuando el árbol sobre el que se propagará el injerto está infectado con el Virus CSS u otra enfermedad sistémica. Injertos de hendidura superior también se pueden practicar exitosamente en árboles adultos. Del árbol a injertar se extraen las ramas más robustas, en los cantos cortados se hace una hendidura lisa y los vástagos de los árboles a ser injertados se disponen en hendidura de modo que ambos cámbiumes entren en contacto. La posición del injerto es cubierta con cinta de injerto y malla plástica. Con este método se alcanzan tasas de éxito de cerca del 90%. En injertos de hendidura superior en una planta adulta se pueden producir los primeros frutos en un plazo de dos años

Cultivo. El cacao puede ser cultivado tanto como monocultivo, así como en plantaciones forestales y en cultivos frutales intercalados (13, 14, 27). Tradicionalmente, el cacao se cultiva a la sombra de bosques raleados o en remanentes de bosque y se mantiene más o menos la estructura natural del bosque (2). La composición botánica de los árboles de sombra es, por lo tanto, compleja y diferente en cada región. Cultivos intercalados se practican, por ejemplo, en

coco, caucho, nueces de areca, canela y plantaciones frutales de todo el mundo. También se practica el cultivo en combinación con especies arbóreas madereras y con leguminosas arbóreas (49). En parte, se utilizan en estas modalidades de cultivo más de tres especies de plantas en un mismo cultivo. Se asume hoy en día que el cultivo intercalado y el manejo forestal, más allá de la función de sombreado, disminuye la aparición de enfermedades del cacao, mantiene la fertilidad natural del sistema de producción, compensa los periodos secos y fomenta el mantenimiento de la biodiversidad (26, 32, 42). El cultivo de cacao en monocultivos, es decir, cultivos intensivos sin sombreado, se realiza especialmente en África occidental sobre bosques talados o terrenos de barbecho. La instalación de las plantaciones se efectúa normalmente con sombreado temporal con, por ejemplo, matas de plátano o leguminosas diversas (por ejemplo *Gliricidia sepium*, *Inga* spp., *Albizia* spp.). Si bien el cacao es un árbol tolerante a la sombra y se cultiva tradicionalmente bajo árboles de sombra, algunos estudios muestran que un sombreado muy intenso (árboles de sombra y autosombrado) no sólo disminuye el rendimiento, sino que también favorece la aparición de enfermedades (62).

La plantación se realiza al comienzo del periodo de lluvias, con suficiente humedad en el suelo (27). Protección del viento y sombreado son condiciones esenciales para el establecimiento de la plantación. Matas de plátano se plantan frecuentemente para el sombreado en los primeros años y para la generación de ingresos durante la fase de establecimiento de la plantación. La distancia entre plantas de cacao depende fuertemente del tipo de cultivo y oscila entre 2.5 x 2.5 m y 5 x 5 m. La densidad de plantas corresponde por lo tanto a 750—1500 plantas por hectárea. En cultivos mixtos con otras especies, la densidad de plantas puede llegar a sólo 400—600 plantas por hectárea. En Asia el promedio es de ca. 1000 plantas/ha. Los cuidados culturales del cacao comprenden, aparte de la fertilización y la remoción de malezas, una poda regular de los árboles de cacao. Para la fertilización se emplean frecuentemente fertilizantes comerciales (NPK) incluyendo micronutrientes (Fe, Zn, B) en una cantidad aproximada de 500 kg/ha/año. La plantación también se apoya con fertilizantes orgánicos (estiércol). El uso prolongado de fertilizantes químicos sintéticos lleva, sin embargo, a un empobrecimiento del suelo y a un empeoramiento de la estructura edáfica, que puede prevenirse por medio de la utilización de fertilizantes orgánicos. En relación con las podas, se remueven los ejes más delgados y los que se han secado (Vos et al. 2003). La poda también determina el tamaño de las plantas de cacao y debe adaptarse a las prácticas locales de manejo y cosecha. La remoción de ejes verticales no productivos (chupones), que normalmente se originan por debajo de la primera ramificación (horqueta), favorece la formación de frutos y facilita el control de plagas (13, 40). También los ejes entrecruzados deben removerse para asegurar una entrada de luz uniforme. La remoción de malezas se realiza manualmente, con herbicidas o se cortan y son posteriormente utilizadas para el acolchado o “mulching” del cacao (38). Las malezas son particularmente importantes en los primeros años, hasta que las copas forman una cobertura continua.

Enfermedades y daños. El cacao, en especial los tipos finos de cacao, es sensible a una gran variedad de daños y enfermedades. En el peor caso, enfermedades individuales pueden acabar con plantaciones completas. Algunas estimaciones sugieren que el 30—40% de la cosecha mundial de cacao se pierde por enfermedades (30). Las enfermedades fungosas más importantes en Perú es la escoba de bruja (*witches' broom*), moniliasis y la pudrición negra (27, 48). En África occidental el virus del cacao inflamado (CSSV por sus siglas en inglés) está ampliamente repartido, el que se transmite a través de oniscídeos (cochinillas). Daños importantes son provocados por insectos de la familia *Miridae* y la polilla del cacao. Los siguientes libros escritos en los años 70 y 80 son siempre citados como la literatura estándar sobre daños y enfermedades del cacao: (18, 51, 56).

Las bases para el control de plagas y su prevención en cultivos de cacao es la aplicación de buenas prácticas agrícolas. Estas incluyen una poda periódica, la remoción de partes de la planta infectadas, una fertilización (orgánica) periódica y un control integrado de plagas (Vos et al. 2003). La remoción de las partes infectadas de la planta es claramente la medida cultural más importante para el control de enfermedades. Una detección temprana y la eliminación de las partes de la planta afectadas son especialmente útiles frente a daños o enfermedades de los frutos. En estudios de campo en el este de Perú se pudo mostrar que la remoción semanal de frutos infectados redujo más significativamente la aparición de moniliasis, escoba de bruja y pudrición negra que cuando la remoción se realiza cada dos semanas (48). La aparición de moniliasis se redujo en 26—41%, la de pudrición negra en 35—66% y la de escoba de bruja en 14—57%. El aumento de la cosecha compensa el aumento de los costos en el cuidado y lleva a un cultivo rentable. La importancia del concepto holístico de manejo integrado de plagas (MIP) ha sido demostrada en cultivos de cacao (11). Aquí se coordinan todos los métodos y procedimientos de protección, de manera que se alcanza un estado permanente y prolongado de un cultivo libre de plagas. Mientras más agricultores de una región cumplen con estas especificaciones más fácil es controlar las plagas y enfermedades. La protección de los organismos benéficos en el área del cacao es un aspecto adicional importante en el MIP. Básico es la minimización del uso de pesticidas, que en cualquier caso dañan también a estos organismos benéficos, o el uso de biocidas menos tóxicos. También es posible la introducción de depredadores o el aumento artificial de poblaciones de los mismos. La remoción de árboles infectados por enfermedades (por ejemplo, escoba de bruja o moniliasis) y la plantación de cultivares resistentes es una posibilidad adicional para disminuir las enfermedades.

Cosecha y rendimiento. Los frutos completamente maduros se cosechan generalmente 5—6 meses después de la floración (13, 30). La maduración completa se identifica a través del cambio de color en el fruto. Preferiblemente se coordina la época de cosecha con el periodo seco (27). Los frutos se cosechan manualmente, donde el pedúnculo se corta cuidadosamente con un cuchillo afilado, sin dañar la corteza del árbol ni los brotes cercanos. Frutos inmaduros, sobremaduros y dañados se dejan aparte (38). La cosecha se realiza durante un periodo de 10—14 días. Las plantas tienen frecuentemente dos periodos principales de fructificación, incluso cuando las plantas de cacao producen frutos todo el año (40). Después de la cosecha los frutos se transportan a un lugar central. Los frutos cerrados se almacenan por no más de 4(—7) días, antes de que sean abiertos. Los frutos se abren con la ayuda de un mazo de madera (el machete o elementos filosos pueden dañar las semillas) y las semillas (granos de cacao) se desprenden manualmente. Aquí también se separan los granos que estén dañados, germinados o inmaduros, así como los infectados por hongos. Se han desarrollado máquinas para esta tarea, aunque en sistemas productivos campesinos de pequeña escala se realiza manualmente. Las cubiertas de los frutos se utilizan nuevamente para la fertilización de las plantaciones. La cosecha promedio es de 300 kg/ha (37). En ensayos de campo controlados se han alcanzado hasta 3000 kg/ha. Los montos anuales de precipitación son el factor climático más importante y tiene una gran influencia en la producción (16). Esto es válido especialmente para los montos de precipitación durante los meses más secos. Un estudio de modelamiento actual menciona la cantidad de luz y la tasa fotosintética, la respiración y la morfología del fruto como factores adicionales importantes que influyen los montos de cosecha (62). Además, en estos modelos, el 70% de la variabilidad de los montos de cosecha anuales pueden ser predichos sobre la base de la radiación solar y los montos de precipitación en los dos meses más secos. Los productores de cacao en la región de Cajamarca (y en realidad, de todos los productores en general del Perú) esperan lograr mejores precios por su producto, tecnificar el proceso de transformación, encontrar mayores mercados para el chocolate e incrementar su

rendimiento por hectárea haciendo uso de técnicas agroecológicas. Dentro de los problemas reconocidos se encuentran los bajos precios, tanto del cacao como del chocolate; no contar con infraestructura adecuada para la transformación, el escaso conocimiento en buenas prácticas de manufactura y la seguridad laboral en el proceso; asimismo, tener escaso conocimiento en el mercado interno y nulo conocimiento en el mercado internacional (oferta, demanda y condiciones) y desconocimiento sobre las plagas y enfermedades del cacao (44).

VI. POSCOSECHA.....

La cosecha y los procesos de poscosecha son decisivos en la calidad del cacao y deben ser realizados de forma inmediata y muy controlada. El aroma y contenido de polifenoles de los productos del cacao no dependen únicamente del cultivar, sino también, en gran medida, de la fermentación, el secado y el posterior tostado (8, 55). Procesos de poscosecha no controlados pueden llevar a granos germinados o mohosos y con ello a una alta pérdida de calidad (52). La poscosecha comprende la fermentación, el secado y el almacenamiento de los granos de cacao (13). La forma como se llevan a cabo estos procesos puede ser muy diferente entre distintos agricultores y depende del lugar y de las condiciones climáticas (27). A través de la fermentación no sólo se forman los aromas importantes, sino que también se previene la germinación de las semillas, se remueven los restos de fruto y se ablanda la testa, lo cual facilita el procesamiento posterior (40). Durante la fermentación, la masa de los granos de cacao se dispone de tal manera que por un lado están bien aislados y el calor se conserva, mientras que, por el otro lado, es posible la ventilación. El proceso de fermentación demora 5—7 días y la duración depende del cultivar, de la temperatura ambiente y el perfil de temperaturas, así como de la calidad de los granos. La fermentación de los granos de los cultivares Criollo es normalmente más rápida y puede terminarse después de 2—3 días. La fermentación comienza con las levaduras y bacterias presentes que descomponen la parte carnosa del fruto alrededor de las semillas y transforman los azúcares en alcohol (30). Con bajas cantidades de grano se puede agregar también levadura fresca de panificación para favorecer la fermentación. En los primeros dos días la fermentación sube la temperatura, generalmente, hasta 40—45 °C. Los granos deben tornarse (revolverse) regularmente (cada día o cada dos días), de modo que se asegure una fermentación y temperatura uniformes. El estado de la fermentación se puede determinar a través del fraccionamiento o corte de algunos granos. Mientras que semillas no completamente fermentadas son violetas y color pizarra por dentro, las semillas suficientemente fermentadas poseen una coloración café-violácea. Semillas demasiado tiempo fermentadas tienden a tener un sabor amargo y olor a amoniaco. La fermentación puede ser realizada por cada agricultor en cestas, cajas u hojas de plátano. Fermentaciones más grandes en cajas de almacenamiento se realizan cuando los montos de cosecha son mayores, o en estructuras cooperativas (25).

El secado detiene el proceso de fermentación y en la mayoría de los casos se lleva a cabo al sol sobre superficies de madera/bandejas de secado o sobre suelos de cemento (27, 39, 40). El secado al sol es simple, económico y muy efectivo. Las semillas se disponen de tal manera que forman una capa lo más delgada posible y se secan lentamente hasta alcanzar un contenido de humedad residual de 6—7.5% (30). El proceso de secado no debe ser demasiado lento, ya que los granos pueden pudrirse. Las superficies de secado deben protegerse contra las lluvias y la entrada de roedores o aves, para prevenir la aparición de agentes patógenos (por ejemplo, *Salmonella*). El secado demora normalmente, dependiendo de las condiciones climáticas, entre 7—14 días. En parte también se utilizan secadores eléctricos o a gas propano, que secan a una temperatura máxima de 45 °C. Especialmente cuando la cosecha de los granos de cacao coincide con el periodo de lluvias, se recomienda la utilización de una instalación de secado.

Temperaturas demasiado altas y secado más rápido, sin embargo, le dan a los granos de cacao un sabor ácido y amargo. En el uso de fuego a leña para el secado de los granos se debe poner atención a que el humo no entre en contacto con los granos, ya que ello deja un sabor ahumado a los granos. El término del secado puede determinarse a través de un simple test de quiebra del grano. Cuando los granos se quiebran al presionarlos con los dedos, entonces significa que están totalmente secos. Sin embargo, un mejor indicador es cuando los granos son cortados con un cuchillo y los cotiledones se desprenden fácilmente.

Después del secado, los granos de cacao se deben almacenar en cestas o en sacos nuevos (normalmente sacos de yute). Los granos de cacao son muy sensibles y, debido a su alto contenido de grasas adquieren muy rápidamente los aromas del ambiente (27, 40). Los sacos y los cestos deben ser, por lo tanto, almacenados en ambientes limpios sin contacto con el suelo o las paredes. También se deben mantener estrictamente separados de maíz, tabaco u otros alimentos.



1) Flores de *Theobromas cacao* L., inflorescencias caulinares; 2, 3, 5) Frutos, bayas grandes (mazorcas); 4) Semillas; 6) Cascara de Cacao en el mercado de Arequipa.

Fotos: 1, 2, 5: Jose Roque; 3,4: PDRS-GIZ Sede Piura; 6: Nicolas Dostert

VII. LITERATURA

1. African Plants Database (version 3.3.4). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria, <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/> [11.07.2011]
2. Almeida de AAF, Valle RR. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 425-448.
3. Bae H, Soo-Hyung K, Moon SK, Sicher RC, Lary D, Strem MD, Natarajan S, Bailey BA. 2008. The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. *Plant physiology and biochemistry* 46(2):174-188.
4. Bayer C, Fay MF, De Bruijn PY, Savolainen V, Morton CM, Kubitzki K, Alverson WS, Chase MW. 1999. Support for an expanded family concept of Malvaceae within a recircumscribed order Malvales: a combined analysis of plastid *atpB* and *rbcL* DNA sequences. *Botanical Journal of The Linnean Society* 129(4): 267-303.
5. Bennett, AB. 2003. Out of the Amazon: *Theobroma cacao* enters the genomic era. *Trends in Plant Science* 8(12):561-563.
6. Brako L, Zarucchi JL. 1993. Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 45: i–xl, 1–1286.
7. Correa A, Galdames MDC, Stapf MNS. 2004. *Cat. Pl. Vasc. Panamá*. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama, 1–599.
8. Counet C, Oowerx C, Rosoux D, Collin S. 2004. Relationship between Procyanidin and Flavor Contents of Cocoa Liquors from Different Origins. *J. Agric. Food Chem.* 52: 6243-6249.
9. De la Cruz M, Whitkus R, Gómez-Pompa A, Mota-Bravo L. 1995. Origins of cacao cultivation. *Nature* 375:542 – 543.
10. Cuatrecasas J. 1964. Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contributions from the United States National Herbarium* 35: 379-614.
11. David S. 2005. Learning about sustainable cocoa production: a guide for participatory farmer training. 1. Integrated crop and pest management. Sustainable Tree Crops Program, International Institute of Tropical Agriculture, Yaoundé, Cameroon.
12. Dias dos Santos LA, Rocha RB, de Toledo Picoli AE. 2005. Distinctness of cacao cultivars using yield component data and RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 5(1):47-54.
13. Directorate of Cashewnut & Cocoa Development (DCCD). About the crop – COCOA. <http://dccd.gov.in/cocoa.htm> [01.7.2011]
14. Duguma B, Gockowski J, Bakala J. 2001. Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51:177–188.
15. Duke, JS. 1983. *Theobroma cacao* L. Handbook of Energy Crops. unpublished. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energ/Theobroma_cacao.html [13.07.2011]
16. EcoPort. 2008. Unassigned EcoPort Record - *Theobroma cacao* L. http://ecoport.org/ep?Plant=2074&entityType=PL****&entityDisplayCategory=full [19.07.2011]
17. Esteves, G. 2010. *Theobroma* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB023618> [20.07.2011]
18. Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa* Tropical Science Series, Longmans, London, UK, 1—779.
19. Faleiro FG; Yamada MM, Lopes UV, Gelape Faleiro AS, de Cássia Siqueira Bahia R, Costa Gomes LM, Carvalho Santos R, Figueiredo dos Santos R. 2002. Genetic similarity of *Theobroma cacao* L. accessions maintained in duplicate at the cacao research center germplasm collection based on RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2(3):439-444.
20. Figueira A, Levy M, Goldsbrough P. 1994. Reexamining the classification of *Theobroma cacao* L. using molecular markers. *J Amer Soc Hort Sci* 119(5):1073-1082.
21. Flora of China Editorial Committee. 2007. *Flora of China* (Hippocastanaceae through Theaceae) 12. In C. Y. Wu, P. H. Raven & D. Y. Hong Fl. China. Science Press & Missouri Botanical Garden Press, Beijing & St. Louis. 1-302.
22. García, L. 2010. Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Ministerio de Agricultura-DEVIDA.
23. García, L. 2011. Recopilación y análisis de información científica para la elaboración de la hoja botánica del cacao (*Theobroma cacao* L.), cv. “porcelana” de Piura. Informe de consultoría. Tingo María, Perú.

24. Gutiérrez M. 2007. Selección de Plantas con Potencial Semillero. Informe de Consultoría. GTZ-PDRS/GORE-Piura.
25. Gutiérrez M, Bacalla L. 2007. Fermentación del Cacao en Dos Diseños de Cajas de Madera. Informe de Consultoría. GTZ-PDRS/GORE-Piura.
26. Hall H, Yuncong Li, Comerford N, Arévalo Gardini E, Zuniga Cernades L, Baligar V, Popenoe H. 2010. Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. *Agroforestry Systems* 80(3):447-455
27. Hebbar P, Bittenbender HC, O'Doherty D. 2011. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Cacao (*Theobroma cacao*) (revised). In: Elevitch, C.R. (ed.). *Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry*. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawai'i.
28. Hokche O, Berry PE, Huber O. 2008. Nuev. Cat. Fl. Vas. Venezuela 1–860. Fundación Instituto Botánico de Venezuela, Caracas, Venezuela.
29. Info Region. 2011. Cacao de Piura obtuvo el primer lugar en el V Concurso Nacional (video). <http://www.inforegion.pe/portada/107931/cacao-de-piura-obtuvo-el-primer-lugar-en-el-v-concurso-nacional-video/> [20.09.2011]
30. International Cocoa Organization (ICCO). Growing Cocoa. <http://www.icco.org/about/growing.aspx> [20.07.2011]
31. Jørgensen PM, León-Yáñez S. 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 75: i–viii, 1–1181.
32. Köhler M, Schwendenmann L, Hölscher D. 2010. Throughfall reduction in a cacao agroforest: tree water use and soil water budgeting. *Agricultural and Forest Meteorology* 150:1079-1089.
33. Lachenaud P, Bonnot F, Oliver G. 1999. Use of floral descriptors to study variability in wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in French Guiana. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46(5):491-500.
34. M & O Consulting. 2008. Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. Informe de consultoría. Proyecto de cooperación UE-Perú en materia de asistencia técnica relativa al comercio - Apoyo al programa estratégico nacional exportaciones (PENX 2003-2013).
35. Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, Lanaud C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89:380–386.
36. Motamayor, J. C.; Risterucci, A. M.; Heath, M.; Lanaud, C. 2003. Cacao domestication II: Progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity* (2003), 91(3), 322-330.
37. Motamayor JC, Lachenaud P, da Silva e Mota JW, Loor R, Kuhn DN, Brown JS, Schnell RJ. 2008. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE* 3(10): e3311.
38. Naturland. 2000. Organic Farming in the Tropics and Subtropics - Cocoa. Naturland e.V. – 1st edition 2000. <http://www.naturland.de/fileadmin/MDb/documents/Publication/English/cocoa.pdf> [13.07.2011]
39. Ndukwu MC, Ogunlowo AS, Olukunle, OJ. 2010. Cocoa Bean (*Theobroma cacao* L.) Drying Kinetics. *Chilean journal of agricultural research* 70(4):633-639.
40. Opeke LK. 1982. Tropical tree crops. Chichester: J. Wiley xvii, 312p.- illus.. Botany of *Theobroma cacao* 67-123.
41. Perry MD, Davey MR, Power JB, Lowe KC, Bligh H F J, Roach PS, Jones C. 1998. Analysis of genetic diversity in cocoa using amplified fragment length polymorphism (AFLP). Editor(s): Davey, M. R. *Tree Biotechnology: Towards the Millennium*, [Annual Tree Biotechnology Group Symposium], Nottingham, UK, 59-365.
42. Rice RA, Greenberg R. 2000. Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *Ambio* 29(3):167-173.
43. Rondon JB, Cumana Campos LJ. 2005. Revision taxonomica de genero *Theobroma* (Sterculiaceae) en Venezuela. (Taxonomic revision of genus *Theobroma* (Sterculiaceae) in Venezuela. *Acta Bot. Venezuel.* 28(1):113-133.
44. Rufino L. 2008. Fortalecimiento de la cadena productiva de cacao, en las provincias de San Ignacio, Jaén y Celendín. Expediente técnico. Cajamarca.
45. Rusconi M, Conti A. 2010. *Theobroma cacao* L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research* 61(1):5-13.
46. Silva CRS, Venturieri GA, Figueira A. 2004 Description of Amazonian *Theobroma* L. collections, species identification, and characterization of interspecific hybrids. *Acta Bot. Brasil.* 18. 333-341.
47. Silva CRS, Figueira A. 2005. Phylogenetic analysis of *Theobroma* (Sterculiaceae) based on Kunitz like trypsin inhibitor sequences. *Pl. Syst. Evol.* 250(1/2):93-104.
48. Soberanis W, Rios R, Arévalo E, Zuniga L, Cabezas O, Krauss U. 1999. Increased frequency of phytosanitary pod removal in

- cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection* 18(10):677-685.
49. Somarriba E, Beer J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems*. 81(2):109-121.
 50. Stevens, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 9, June 2008 <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> [01.07.2011]
 51. Thorold CA. 1975. *Diseases of Cocoa*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1-423.
 52. Vos JGM, Ritchie BJ, Flood J. 2003. DISCOVERY LEARNING ABOUT COCOA - An inspirational guide for training facilitators. Cabi bioscience, Bakeham Lane, UK. 1-111.
 53. Whitkus R, de la Cruz M, Mota-Bravo L, Gomez-Pompa A. 1998. Genetic diversity and relationships of cacao (*Theobroma cacao* L.) in southern Mexico. *Theor Appl Genet* 96:621-627.
 54. Whitlock BA, Baum DA. 1999. Phylogenetic relationships of *Theobroma* and *Herrania* (Sterculiaceae) based on sequences of the nuclear gene vicilin. *Syst. Bot.* 24. (2): 128-138.
 55. Wollgast J, Anklam E. 2000. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International* 33(6):423-447.
 56. Wood GAR, Lass RA. 1985. *Cocoa* (4th edition), Longmans, UK, 1-620.
 57. Yamada MM, Faleiro FG, Lopes UV, Bahia RC, Pires JL, Gomes LMC, Melo GRP. 2001. Genetic variability in cultivated cacao populations in Bahia, Brazil, detected by isozymes and RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 1:377-384.
 58. Young AM. 1994. *The chocolate tree: A natural history of cacao*. Washington, D.C.: Smithsonian Inst. Press.
 59. Zhang D, Boccara M, Motilal L, Mischke S, Johnson ES, Butler DR, Bailey B, Meinhardt L. 2009. Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from Upper Amazon using microsatellite DNA markers. *Tree Genetics & Genomes* 5(4):595-607.
 60. Zhang D, Gardini EA, Motilal LA, Baligar V, Bailey B, Zuñiga-Cernades L, Arevalo-Arevalo CE, Meinhardt L. 2011a. Dissecting Genetic Structure in Farmer Selections of *Theobroma Cacao* in the Peruvian Amazon: Implications for on Farm Conservation and Rehabilitation. *Tropical Plant Biol.* 4:106–116.
 61. Zhang D, Windson JM, Johnson ES, Somarriba E, Phillips-Mora W, Astorga C, Mischke S, Meinhardt LW. 2011b. Genetic diversity and spatial structure in a new distinct *Theobroma cacao* L. population in Bolivia . *Genet Resour Crop Evol* online.
 62. Zuidema PA, Leffelaar PA, Gerritsma W Mommer L, Anten NPR. 2005. A physiological production model for cacao (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*,84:195-225.