

# Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali

*Seminario, 16 de enero de 2003, Pucallpa, Perú*

**J.L. Chávez-Servia, R. Sevilla-Panizo, editores**



# **Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar** la agrobiodiversidad en la región de Ucayali

*Seminario, 16 de enero de 2003, Pucallpa, Perú*

**J.L. Chávez-Servia, R. Sevilla-Panizo, editores**



**Bioversity International** (anteriormente conocido como el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos - IPGRI) es un organismo internacional autónomo, de carácter científico, que busca contribuir al bienestar actual y futuro de la humanidad, mejorando la conservación y el aprovechamiento de la agrobiodiversidad en fincas y bosques. Es uno de los 15 Centros auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), una asociación de miembros del sector público y privado, que apoya la ciencia para reducir el hambre y la pobreza, mejorar la nutrición y la salud de la población, y proteger el ambiente. Bioversity tiene su sede principal en Maccarese, cerca a Roma, Italia, y oficinas en más de 20 países. Bioversity opera mediante cuatro programas: Diversidad al Servicio de las Comunidades, Comprensión y Manejo de la Biodiversidad, Asociaciones Colaborativas de Carácter Mundial, y Cultivos para Mejorar Medios de Vida.

El carácter de organismo internacional de Bioversity lo confiere la firma del Convenio de Creación de la organización, el cual, a enero de 2006, había sido ratificado por los gobiernos de los siguientes países: Argelia, Australia, Bélgica, Benin, Bolivia, Brasil, Burkina Faso, Camerún, Chile, China, Congo, Costa Rica, Costa de Marfil, Chipre, Dinamarca, Ecuador, Egipto, Eslovaquia, Grecia, Guinea, Hungría, India, Indonesia, Irán, Israel, Italia, Jordania, Kenia, Malasia, Malí, Mauritania, Marruecos, Noruega, Pakistán, Panamá, Perú, Polonia, Portugal, la República Checa, Rumania, Rusia, Senegal, Sudán, Suiza, Siria, Túnez, Turquía, Ucrania y Uganda.

Los programas de investigación de Bioversity reciben apoyo financiero de más de 150 donantes, incluyendo gobiernos, fundaciones privadas y organismos internacionales. Información adicional sobre los donantes y las actividades de investigación de Bioversity aparece en los Informes Anuales de la organización, disponibles en forma electrónica en la dirección [www.bioversityinternational.org](http://www.bioversityinternational.org), o en forma impresa, por solicitud, en la dirección [bioversity-publications@cgiar.org](mailto:bioversity-publications@cgiar.org)

Las designaciones geográficas empleadas en esta publicación, al igual que la presentación del material, no expresan en modo alguno la opinión de Bioversity o del GCAI sobre el estatus legal de ningún país, territorio, ciudad o región, ni acerca de sus autoridades o de la delimitación de sus fronteras. Asimismo, las opiniones expresadas son las de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de estas organizaciones.

La mención de alguna marca registrada se suministra con fines informativos únicamente, no de apoyo al producto.

**Cita:**

Chávez-Servia, J.L. y R. Sevilla-Panizo (eds.). 2006. Seminario: Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali, 16 de enero de 2003, Pucallpa, Perú. Bioversity International, Cali, Colombia.

ISBN-13: 978-92-9043-738-3

ISBN-10: 92-9043-738-3

Bioversity International  
Via dei Tre Denari 472/a  
00057 Maccarese (Rome)  
Italy

© Bioversity International, 2006

## Agradecimientos

Esta publicación es producto del trabajo y esfuerzo de los investigadores y auxiliares del proyecto “Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola en fincas: Perú”, con apoyo financiero del gobierno de Perú, asistencia técnica de Bioversity International (antes IPGRI), y en colaboración con el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) y el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA). A todos les expresamos nuestros agradecimientos.

La versión final de este documento no hubiera sido posible sin la revisión y sugerencias de Margarita Baena y Marleni Ramírez de Bioversity International, Oficina para las Américas, y las constantes correcciones a los textos, figuras y diagramación final realizadas por Ana Luisa Triana y Victoria Rengifo. También, agradecemos a los autores por su paciencia para concluir las versiones finales de cada artículo.



## Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>v</b>
<b>Presentación</b>	<b>ix</b>
<b>Valoración económica y social de la conservación de la biodiversidad en Perú</b> <i>Elsa Galarza</i>	<b>1</b>
<b>Decisiones del agricultor para la conservación <i>in situ</i> de la biodiversidad agrícola</b> <i>Alfredo Riesco de la Vega</i>	<b>13</b>
<b>Conservación <i>in situ</i> de la agrobiodiversidad en la Amazonía Central peruana: resultados preliminares</b> <i>Luis Angel Collado, María Arroyo, Alfredo Riesco y José Luis Chávez Servia</i>	<b>23</b>
<b>Colecta y clasificación para programar la conservación <i>in situ</i> de la diversidad de maíz en la Amazonía peruana</b> <i>Ricardo Sevilla Panizo</i>	<b>33</b>
<b>Los recursos genéticos del maní o cacahuate (<i>Arachis hypogaea</i> L.) en Perú: bosquejo taxonómico y apuntes sobre la colecta, multiplicación y caracterización del germoplasma.</b> <i>David E. Williams</i>	<b>51</b>
<b>Análisis de la diversidad dentro y entre especies de <i>Capsicum</i>: opciones para estimar la variación interpoblacional</b> <i>José Luis Chávez Servia</i>	<b>61</b>
<b>Caracterización morfológica de la yuca (<i>Manihot esculenta</i> C.) de Perú</b> <i>Llormé Ríos Lobo</i>	<b>77</b>
<b>Discusión general y conclusiones</b> <i>Compiladores: Ricardo Sevilla Panizo y David E. Williams</i>	<b>85</b>
<b>Instituciones participantes</b>	<b>87</b>
<b>Lista de participantes</b>	<b>89</b>



## Presentación

### **Marleni Ramírez**

*Directora Regional, Bioversity International, Oficina para las Américas*

Desde el año 2002, Bioversity International (anteriormente conocido como el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI), con la colaboración de expertos de diferentes disciplinas de Perú, desarrolla e incorpora un proyecto denominado “Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola en fincas”. Este proyecto incluyó componentes similares en México, Marruecos, Burkina Faso, Hungría, Nepal y Vietnam.

El propósito fundamental del proyecto estuvo orientado a fortalecer las bases científicas, los vínculos institucionales y las políticas que apoyan el rol de los agricultores en la conservación y uso de la diversidad genética de los cultivos. Los tres objetivos de la investigación fueron: 1) Desarrollar y promover los métodos y ejemplos del análisis comparativo y la integración de los datos de diferentes cultivos, los procesos clave de la conservación en fincas desde diferentes disciplinas, 2) Disponer de principios, opciones y enfoques para integrar la agrobiodiversidad en el desarrollo agrícola regional, y 3) Apoyar a las organizaciones nacionales en el desarrollo de programas de conservación *in situ* y políticas que tiendan a fortalecer y aumentar la capacidad técnico-científica y su representatividad nacional en el tema.

La recopilación de información se basa en la respuesta a cuatro preguntas básicas: 1) ¿Cuál es la distribución y cantidad de diversidad genética que mantienen los agricultores en el tiempo y el espacio?, 2) ¿Cuáles son los procesos usados por el agricultor para mantener la diversidad genética en las fincas?, 3) ¿Quién mantiene esa diversidad?, y 4) ¿Cuáles son los factores (p. ej. sociales, ambientales, mercantiles y no mercantiles) que influyen en la decisión de los agricultores para mantener la diversidad de los cultivos tradicionales?

Es así, como parte del marco de referencia descrito, se planteó la necesidad de un seminario -sintetizado en esta publicación- con el objetivo de orientar las actividades de investigación a fin de obtener el mínimo conjunto de datos necesarios para responder a las preguntas planteadas en relación a la cantidad y distribución de la diversidad genética intra-específica en la región de Ucayali, Perú (área geográfica de estudio), y también los factores socioeconómicos que influyen en las decisiones de los agricultores sobre la conservación de las variedades locales en sus parcelas de cultivo.

En este documento, se presentan siete artículos de las ponencias presentadas durante el seminario **Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali**, realizado el 16 de enero de 2003, en Pucallpa, Perú. Los dos primeros artículos hacen énfasis, usando el enfoque de mercado, en los aspectos económicos y sociales que determinan las distintas formas de valoración de la agrobiodiversidad. La valoración de la agrobiodiversidad es un tema relativamente nuevo y con ciertas limitaciones en relación a la aplicación de los métodos clásicos de valoración econométrica. En la segunda parte, se presentan cinco artículos que abordan las estrategias, metodologías y herramientas de análisis para determinar la cantidad y distribución de la diversidad intra-específica. Los ejemplos utilizados corresponden a los cultivos diversificados en la selva amazónica peruana como maíz (*Zea mays* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.), ají (*Capsicum* spp.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Bioversity International espera que esta publicación sirva de guía a las instituciones e investigadores encargados de implementar proyectos e iniciativas que tengan como finalidad la cuantificación de la diversidad genética de los cultivos y su valoración socioeconómica en fincas.



---

# **Valoración económica y social de la conservación de la biodiversidad en Perú**

## ***Elsa Galarza***

*Economista. Investigadora del Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (CIUP). Jr. Sánchez Cerro 2141, Lima 11, Perú (Email: egalarza@up.edu.pe).*

## ***Introducción***

La pérdida de la diversidad biológica, entendida como los cambios que llevan a reducir o simplificar la heterogeneidad biológica en el mundo, es reconocida como uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad. América Latina, una región con grandes riquezas naturales, no ha sido la excepción en este proceso de deterioro. Desde la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, en la cual se aprobó el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), muchos países han avanzado en el ordenamiento de sus políticas y en la generación de instrumentos que permitan un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En particular, Perú ratificó el CDB y, en este marco, ha establecido la Estrategia Nacional de la Diversidad Biológica de Perú (Decreto Supremo número 102-2001-PCM, septiembre 2001). Más recientemente, la Comunidad Andina de Naciones (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) aprobó la Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino (julio 2002).

La diversidad biológica o biodiversidad es un término usado para describir el número, variedad y variabilidad de los organismos vivos en un determinado espacio. La biodiversidad comprende al conjunto de organismos vivos de cualquier fuente, es decir, presentes en los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, e incluye tanto la diversidad dentro de una especie (diversidad genética), como entre especies y entre ecosistemas (SGCA, 2002). Esta definición está relacionada con aquellos componentes de la biodiversidad que tienen usos actuales o potenciales para el hombre. Esta mirada antropocéntrica a los recursos abre una oportunidad para realizar un análisis económico de los mismos y para evaluar los distintos paradigmas del análisis del valor.

La relevancia de la biodiversidad radica en el valor económico creciente que tiene este recurso a partir de los diferentes usos y aplicaciones desarrollados. Sobre la base del aprovechamiento de este recurso, se realiza un conjunto de variadas actividades que producen bienes para la alimentación, cuidado de la salud e insumos industriales, entre otros. Además, la riqueza de la biodiversidad permite el desarrollo de la biotecnología, a través de la cual -entre otras cosas- se generan semillas y razas mejoradas, así como productos industriales.

Sin embargo, la paradoja está en que la actividad humana es también la fuerza motriz que genera la pérdida de la biodiversidad, y cualquier medida de conservación tiene consecuencias económicas importantes. Sin duda, se requerirán cambios en la estructura económica que se asociarán a costos y beneficios económicos. El propósito de este documento es utilizar el enfoque económico de mercado como una forma de estimular la conservación de la diversidad biológica. Esto implicará ver a la biodiversidad como un bien en el mercado y establecer las distintas formas de valoración que este enfoque permite.

La valoración de la diversidad biológica es un tema relativamente nuevo en comparación con otros instrumentos de gestión de la biodiversidad, y cada vez más demandado por distintos agentes involucrados en la problemática. Los distintos métodos de valoración económica existentes demuestran que no se ha logrado aún establecer el método que recoja el valor total de la biodiversidad; sin embargo, los avances realizados han permitido tener parámetros de referencia más adecuados que permiten la comparación con otras alternativas para mejorar la toma de decisiones. Los desafíos en este campo son muy amplios; se requerirán enfoques multidisciplinarios para mejorar los métodos y una mayor difusión de estos conceptos.

### ***La biodiversidad como un bien***

El enfoque económico de la biodiversidad se basa en el entendimiento de la contribución que ésta hace a la sociedad. Se puede afirmar que la biodiversidad provee o incrementa la productividad de los ecosistemas, la seguridad, el conocimiento y los servicios ambientales (Heal, 2000). En primer lugar, en cuanto a la productividad, existe evidencia empírica de que los sistemas de plantas con mayor biodiversidad son más productivos que aquellos con menos y, en general, las comunidades de plantas y animales más diversas son, en promedio, más estables y robustas frente a las fluctuaciones en el ambiente. Es importante resaltar que si bien la biodiversidad contribuye a elevar la productividad de los ecosistemas naturales y sistemas agrícolas, esto lo hace a través de mecanismos distintos. Los sistemas naturales se benefician directamente de la diversidad de especies; la agricultura se beneficia de la existencia de variabilidad genética de la cual se pueden generar nuevas variedades.

En segundo lugar, los términos seguridad y biodiversidad están estrechamente vinculados y tienen gran importancia. Sin reservas de variabilidad genética, no se estaría en la capacidad de desarrollar variedades de cultivos agrícolas y animales que puedan ser resistentes a nuevas enfermedades o plagas. Asimismo, la biodiversidad provee variabilidad que puede ser crítica para responder a los cambios climáticos causados por la actividad humana. La existencia de una gran diversidad genética permite encontrar plantas y animales que puedan tolerar ambientes contaminados y, más aún, ayudar a descontaminarlos.

En tercer lugar, la biodiversidad es fuente de conocimiento dado que se puede aprender de los organismos naturales para producir químicos con propiedades importantes. El valor de la industria farmacéutica tiene su origen en plantas y otros organismos vivos, al igual que la industria de la biotecnología.

Finalmente, existe una forma más compleja en la cual la biodiversidad es esencial para el funcionamiento apropiado de los ecosistemas y la provisión de los servicios ambientales. En algunos casos, la falta de un tipo de organismo o la presencia de uno nuevo puede llevar al ecosistema a cambiar totalmente. Ello revela la gran interdependencia de las especies de todo tipo, incluso del hombre; y lo difícil que es predecir las consecuencias de un cambio de la biodiversidad en los ecosistemas.

Cabe preguntarse, entonces, ¿hasta qué punto se pueden comercializar estos aportes de la biodiversidad?, ¿el valor económico de éstos puede capturar el mercado?, ¿pueden los poseedores de biodiversidad generar ingresos de estas contribuciones que les permitan conservarla? Para entender hasta dónde las fuerzas de mercado pueden expresar el valor de la biodiversidad, es necesario entender cuatro aspectos económicos básicos: **los derechos de propiedad, los bienes públicos, los horizontes temporales y la incertidumbre e irreversibilidad**. Cada uno de estos aspectos representa problemas para la asignación eficiente de los recursos, en los cuales el enfoque de mercado es débil. En efecto, la biodiversidad es un bien que se encuentra justamente con estos problemas; sin embargo, es posible el diseño de herramientas económicas.

### **Derechos de propiedad**

Un sistema de mercado funciona cuando uno puede vender o comprar bienes de alguien que tiene el derecho de transferir dichas propiedades a otros. El problema consiste en que la biodiversidad no es propiedad específica de alguien y, por lo tanto, no es realmente negociable. Inclusive, si el recurso biológico es privado, la diversidad sigue siendo un bien no negociable. Ello implica que el propietario, si existiese, no podría apropiarse de su valor de mercado (asumiendo que el mercado pueda otorgarle su valor).

### **Bienes públicos**

La biodiversidad es un bien público, es decir, es un bien que si es provisto para una persona, lo es para todas a la vez, y cuya cantidad suministrada es la misma para todos (Varian, 1993). Una proposición básica de la teoría del bienestar establece que este tipo de bienes no son provistos por el mercado de manera eficiente; el mercado funciona con bienes privados tales como pan o carne y no con las variedades genéticas del trigo o con la variación genética de los tipos de ganado. La biodiversidad es un ejemplo interesante de bien público porque tiene dos peculiaridades: la primera se refiere a que no puede ser aumentada, sino por el contrario, sólo se puede extraer de ella (hay una reserva inicial de biodiversidad), y la segunda se refiere a que no es provista por un agente público sino por la acción de miles de agentes privados que toman decisiones sobre ella, es decir, es un bien público provisto de manera privada.

### **Horizontes temporales**

La biodiversidad es importante a largo plazo, es decir, los costos incurridos por la pérdida de biodiversidad sólo pueden ser observados en horizontes temporales mayores a los 50 años. Sin embargo, la mayoría de los métodos de valoración económica están sesgados en contra de inversiones de muy largo plazo, dado que se evalúan las alternativas en función del valor presente descontado. Cualquier tasa positiva de descuento discrimina en contra de proyectos orientados a futuro y, por lo tanto, la teoría económica convencional no justifica inversiones que prevengan cambios climáticos, preserven biodiversidad o prevengan derrames de residuos nucleares, entre otros, dado que todos tienen horizontes por encima de los 100 años. Hay que tener presente, entonces, que los enfoques convencionales subvaluarán dichas inversiones.

### **Incertidumbre e irreversibilidad**

Existe una gran incertidumbre sobre el valor de ciertos tipos de biodiversidad, como analizaremos más adelante. Es importante mencionar que si uno preserva la biodiversidad -cuyo valor es incierto-, uno puede en el futuro conseguir mayor información sobre el valor de la misma y tomar una decisión sobre su conservación. Sin embargo, la preservación de la biodiversidad le da a uno el derecho, pero no la obligación, de mantener el recurso, y si uno destruye la biodiversidad, no hay posibilidad de recuperarla después aunque su valor haya sido muy alto (irreversibilidad) (Hartwick y Olewiler, 1998).

En resumen, existen varios aspectos de la biodiversidad que encajan justamente en los aspectos más débiles del mercado, lo que de manera general, nos llevaría a concluir que no se puede esperar que el mercado por sí solo preserve la biodiversidad. Sin embargo, sí es posible utilizar al mercado para proveer incentivos para la conservación de la diversidad biológica. Existen aspectos de la biodiversidad que pueden ser incorporados al mercado o que ya tienen mercados establecidos, pero existen otros aspectos que se dejan de lado. Hay que reconocer que los aspectos mencionados en este párrafo demuestran que la biodiversidad, como un recurso de mucho valor, no va a poder ser cuantificada en su totalidad por el mercado, pero probablemente se podrá calcular su mínimo valor y éste puede ser lo suficientemente alto como para tener un impacto importante en las decisiones de las políticas a tomar. El mercado jugará un papel cada vez más importante en la medida en que se comprendan mejor el rol socioeconómico de la biodiversidad y la economía de los bienes públicos producidos privadamente, y se desarrolle un enfoque de análisis costo-beneficio que sea sostenible.

### ***Agricultura y biodiversidad***

Antes de entrar al tema de la valoración, es importante establecer algunas relaciones más específicas entre la biodiversidad y la agricultura. Ello permitirá, luego de presentar los métodos de valoración, encontrar aquellos que más se adaptan a la agrobiodiversidad.

El desarrollo sostenible de la agricultura es esencial para el bienestar de la humanidad, pero es necesario que esta última se reconcilie con las necesidades de conservar la biodiversidad. La intensificación de las operaciones agrícolas y la extracción forestal que han producido ganancias de corto plazo frecuentemente han traído consigo problemas ambientales dentro de los cuales se encuentran la acelerada pérdida de la biodiversidad. Mientras se logra reconocer que las áreas naturales protegidas son cruciales para la conservación, su sostenibilidad dependerá de lo que suceda en los hábitats manejados.

La biodiversidad se presenta como una fuente muy rica para mejorar la agricultura. Una forma por la cual la conservación de la biodiversidad puede llevar a lograr mayor producción e ingresos para las zonas rurales es la domesticación de nuevas plantas que se adapten a condiciones más difíciles. El intercambio de los cultivos existentes puede también enriquecer la biodiversidad de tierras manejadas por aquellos que procesan e intercambian bienes agrícolas. La diversificación de los sistemas agrícolas aumenta las opciones de los agricultores y reduce el riesgo. Muchos agricultores en los trópicos tienen cultivos indígenas y exóticos, y normalmente varían en función de las condiciones ambientales y de mercado. El mantenimiento de la agrobiodiversidad en un área puede producir beneficios en otras regiones también.

Los cultivos existentes también tienen que ser constantemente mejorados para combatir las plagas y enfermedades, y poder adaptarse a las condiciones de los mercados. Cerca del 50% del incremento de la producción de los principales cultivos en los últimos 100 años se atribuye al mejoramiento genético, y el restante 50% se debe a prácticas agronómicas, como riego y fertilización. Una de las formas más importantes de mejorar la productividad es adaptar nuevas variedades a los cultivos existentes y, de esta manera, reducir la dependencia a los agroquímicos.

Ciertos microorganismos son también vitales para la productividad de la agricultura a largo plazo. Estos organismos realizan funciones que mejoran el metabolismo del suelo, las plantas y los animales. El desarrollo de una agricultura sostenible dependerá del mantenimiento de la biodiversidad.

### ***Valoración económica***

Como se mencionó anteriormente, las contribuciones que ofrece la biodiversidad tienen importancia económica. En este sentido, si la diversidad incrementa la productividad de los sistemas agrícolas, se esperaría que los agricultores estén dispuestos a pagar por ella. Asimismo, el seguro que brinda la biodiversidad a la humanidad es un aspecto muy similar al seguro que uno toma para su auto o su salud, por lo que se esperaría también una disposición de pago por parte de los agentes. La dificultad que se presenta en este aspecto es su carácter de bien público global, es decir, que el pago de una prima por el desarrollo de la nueva variedad no se hará efectivo hasta el momento en que ésta se introduzca al mercado; pero si la nueva variedad no es necesaria, no habrá forma de cobrarlo. Existe la posibilidad de que el bien público se convierta en bien privado con lo que el problema estaría resuelto. Un ejemplo de ello es el desarrollo del tema de derechos de propiedad intelectual para la biotecnología aplicada a la agricultura.

En términos del conocimiento, el desarrollo de productos médicos por parte de la industria farmacéutica, y el desarrollo de nuevos y mejores cultivos por parte de la industria de la biotecnología agrícola han creado mercados en los cuales se pagan precios y utilidades por el acceso a los recursos, así como por los productos finales. Quizás el enfoque más promisorio a futuro sea la venta de los servicios ambientales de los ecosistemas, que permitiría obtener ingresos para la conservación de la biodiversidad. El ecoturismo es un ejemplo de este tipo de mercado basado en la preservación intacta de los ecosistemas y en la generación de ingresos que resulta en un enorme incentivo para la conservación.

Para estimular la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, es necesario traducir los beneficios sociales, económicos y ambientales -generados por ella- en valores monetarios, independientemente de si existen o no mercados para dichos bienes y servicios. Resultará más sencilla la valoración de bienes con mercados establecidos como los ejemplos antes mencionados, pero será de relativa mayor importancia tratar de hallar valor monetario a aquellos bienes y servicios ambientales que no lo tienen.

### Concepto de valor económico total

La teoría económica plantea el concepto de valor económico total (VET) como aquel que incluye el valor de uso (VU) y el valor de no uso (VNU). El valor de uso es el más elemental de todos y constituye el valor que se obtiene del uso actual de un determinado recurso. Por ejemplo, el uso de la madera de un bosque o el uso de un parque natural para la recreación o pesca, entre otros, constituye un valor de uso. El valor de uso se puede dividir también en valor de uso directo (VUD), que se refiere a los usos actuales como pesca, madera, etc. y el valor de uso indirecto (VUI), que se refiere a los beneficios derivados de la función de los ecosistemas como la función de los bosques en cuanto a su capacidad para proteger mantos acuíferos.

Los valores de no uso son un poco más complicados de definir y estimar. Se dividen en tres grupos: el valor de opción (VO), el valor de existencia (VE) y el valor de herencia (VH). Algunos autores consignan el valor de opción como parte del valor de uso, mientras que otros lo consideran como un valor de no uso. El valor de opción es aquel que se deriva de la posibilidad de contar con el recurso para un posible uso futuro, una especie de valor de un seguro. En este caso, la desaparición de un parque natural, por ejemplo, supone la pérdida de bienestar del individuo aunque éste no lo haya visitado jamás, mientras que su preservación mejora el bienestar. El valor de existencia se refiere a aquel valor derivado de su simple existencia, aunque no se piense utilizar en el futuro. La creencia en el derecho a la existencia de otras formas de vida (animales o plantas), cuestiones morales, ideológicas y de solidaridad son los fundamentos de este valor. Por último, el valor de herencia refleja el deseo de preservar un determinado bien para el disfrute por parte de las generaciones futuras.

En resumen,  $VET = VU + VNU = (VUD + VUI) + (VO + VE + VH)$ .

Cuadro 1. Tipologías del valor económico total de la biodiversidad

Clasificación de valor	Tipos de valor	Uso
Valor de uso	Uso directo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilización de flora y fauna para alimentación (agricultura y pesca)</li> <li>Utilización de flora y fauna para productos medicinales</li> <li>Extracción de productos maderables y no maderables</li> <li>Ecoturismo</li> </ul>
	Uso indirecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conservación de suelos contra erosión, inundaciones, aluviones y deslizamientos</li> <li>Regulación del clima y recarga del manto acuífero</li> <li>Reducción de contaminación</li> <li>Renovación del ciclo de la materia</li> </ul>
Valor de no uso	De opción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso futuro de la biodiversidad</li> <li>Conservación de áreas naturales protegidas</li> </ul>
	De existencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conservación de hábitats, especies, genes y ecosistemas</li> </ul>
	De herencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevención del cambio irreversible de hábitats</li> <li>Valores culturales y éticos</li> <li>Conocimientos tradicionales</li> </ul>

Fuente: Azqueta (1994) y Pearce y Moran (1994)

El Cuadro 1 muestra la tipología explicada anteriormente en referencia al uso de la biodiversidad. Los VUD se encuentran relacionados a los mercados existentes; por ejemplo: madera, pesca, agricultura, y turismo. En contraste, las actividades de VUI, como la conservación de suelos y recarga del acuífero, son más difíciles de calcular porque no se comercializan ni remuneran. Los VNU son más complicados de analizar por su propia naturaleza. Muchos de los beneficios de la conservación de la biodiversidad se encuentran bajo este rubro.

### **Métodos de valoración económica**

La valoración de la diversidad biológica es un término bastante general y esconde especificidades y complejidades asociadas a cada caso en particular. Por ello, los métodos existentes han sido desarrollados de acuerdo con el tipo de bienes y servicios que se quiere valorar.

Existen básicamente dos grandes enfoques de valoración, cada uno con un número variado de técnicas: el enfoque de valoración directa y el enfoque de valoración indirecta. Cabe mencionar que la clasificación de los métodos y técnicas de valoración es variada. Algunos autores las clasifican como técnicas de valoración objetivas y subjetivas. La primera incluye una serie de técnicas que se basan en relaciones de mercado, mientras que la segunda, incluye los métodos de valoración que se apoyan en bienes privados relacionados con bienes ambientales. El enfoque de valoración directa estima las preferencias directamente a través de encuestas y técnicas experimentales, tales como la valoración contingente. A las personas se les pregunta directamente sobre sus preferencias respecto de un cambio propuesto. Por el contrario, el enfoque de valoración indirecta trata de estimar las preferencias a través de información de mercado, actual y observable. Las preferencias por el bien ambiental son reveladas indirectamente cuando el individuo compra en el mercado un bien que está relacionado con el bien ambiental. Asimismo, existe una serie de métodos que se utilizan cuando el producto se puede medir, tales como la técnica de dosis-respuesta y la técnica de costo-reposición, entre otros.

### **Enfoque de valoración directa**

Se tratará en primer lugar, el caso de los **experimentos**, los cuales son bastante difíciles de diseñar, especialmente si son de gran escala. Los experimentos son ejercicios reales que se realizan a través de la observación directa del comportamiento de los individuos ante cambios de diversos factores. Por ejemplo, si se desea conocer cuánto estaría dispuesto a pagar un individuo por vivir en una ciudad con una calidad de agua determinada, se esperaría observar cuánta gente lo valora considerando la cantidad de migración de una ciudad con menor estándar de calidad de agua a una con mejor calidad, pero con impuestos más altos. Este tipo de experimentos son complejos y la técnica ha demostrado ser apropiada solamente cuando se realizan experimentos de escala reducida.

La segunda y más importante técnica es la **valoración contingente**. En los últimos quince años, el interés en esta técnica y su desarrollo ha sido muy grande debido a que es la única disponible para determinar los valores de no uso. Asimismo, las aplicaciones de esta técnica han demostrado que los estimados obtenidos de encuestas bien diseñadas y aplicadas apropiadamente han sido buenos; y el diseño, análisis e interpretación de las encuestas han mejorado notablemente.

El método de valoración contingente se basa en una encuesta que pregunta directamente la cantidad que uno está dispuesto a pagar (*willingness to pay* –WTP, su acrónimo en inglés) por un cambio en la provisión de un bien y/o la cantidad que uno está dispuesto a aceptar (*willingness to accept* –WTA, su acrónimo en inglés) para tolerar dicho cambio o evitarlo. La situación que se le pide responder al entrevistado es hipotética, pero se espera que sus respuestas sean idénticas a su comportamiento en una situación real de mercado.

Existen tres aspectos importantes de las encuestas de valoración contingente: (a) La descripción del escenario hipotético bajo el cual el bien o servicio será presentado al individuo e incluirá información sobre el momento en que estará disponible el bien o servicio, la forma de pago, las instituciones participantes, y la calidad y confiabilidad del mismo. (b) La respuesta del individuo sobre el valor que le daría al bien o servicios si se encontrara en la situación antes descrita. Las preguntas toman la forma de WTP o WTA y se utilizan modelos econométricos para derivar la disposición a pagar por el bien o servicio. (c) La validación de las respuestas se contrasta relacionando las respuestas de la disposición a pagar de los individuos con sus características socioeconómicas y demográficas. La confirmación de las relaciones *a priori* entre el WTP y el ingreso, edad y otras variables son un indicador de la calidad de las respuestas.

Como cualquiera de los métodos, la valoración contingente presenta diferentes tipos de sesgo en su aplicación, sobre los cuales hay que prestar especial cuidado. Algunos de éstos son los siguientes: (i) sesgos estratégicos basados en la percepción de los encuestados; (ii) sesgos de hipótesis: ocurren dependiendo de la situación hipotética de mercado que se presente; (iii) problema de enfoque: cuando no se entiende perfectamente la pregunta dado que depende de los sentimientos o recuerdos de eventos; (iv) sesgos de información: referente a los mercados hipotéticos que se plantean y que pueden afectar las respuestas; (v) sesgos de agregación: al tratar de englobar todas las respuestas de valoración; (vi) sesgo del encuestador: respecto a las influencias de los comentarios de los encuestadores que pueden afectar las respuestas; (vii) sesgo de la forma de pago: dependiendo de la forma que se escoja y que puede traer problemas de inicio como, por ejemplo, un impuesto; y finalmente, (viii) el sesgo del punto de inicio: la forma en que se plantea el mínimo nivel de pago influenciará el resultado final. Para un mayor detalle sobre los sesgos que presenta el método de valoración contingente, se puede consultar a Azqueta (1994) y a Pearce y Moran (1994).

En resumen, a pesar de las críticas existentes al método de valoración contingente, éste es una buena opción para la valoración de la biodiversidad, debido a que es la única forma de incorporar los valores de no uso. En este mismo sentido, la valoración contingente de la biodiversidad permite, a través de los procesos de encuestas y entrevistas, experimentar con el conocimiento y entendimiento de la biodiversidad por parte de los agentes económicos (Cuadro 2).

Cuadro 2. **Métodos de valoración económica**

Enfoques de valor directo	Enfoques de valor indirecto	
	Mercados sustitutos	Convencional de mercado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimentos</li> <li>• Método de valoración contingente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de precios hedónicos</li> <li>• Método de costo de viaje</li> <li>• Cambios en la función de producción de la familia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas basadas en dosis-respuesta</li> <li>• Costo de reemplazo</li> <li>• Costo de oportunidad</li> </ul>

Fuente: Pearce y Moran (1994)

### Enfoque de valoración indirecta

En este tipo de técnicas, las preferencias por los bienes o servicios ambientales se revelan indirectamente a través del mercado, cuando los individuos adquieren un bien privado cualquiera relacionado con el bien ambiental. Las técnicas más importantes son las siguientes: los precios o salarios hedónicos, el costo de viaje, el gasto preventivo o mitigado, el costo de reemplazo; y los costos de enfermedad, de oportunidad y cambios de productividad, entre otros. El énfasis de estas técnicas está en su contribución a la valoración de los recursos biológicos y no a la biodiversidad por sí misma, por lo cual el valor estimado sólo puede ser un valor de referencia mínimo.

Este grupo de técnicas indirectas puede dividirse en dos categorías: **los enfoques de mercados sustitutos y los enfoques convencionales de mercado**. En el primer grupo, se encuentran aquellos métodos cuyos mercados de bienes o servicios intercambiados tienen una relación de complementariedad (atributos) o sustitución con los bienes ambientales que se quieren valorar. Al revelar el consumidor el precio por el bien privado, de alguna manera lo está haciendo también por el bien ambiental. Estos enfoques son preferidos por quienes toman decisiones ya que se basan en decisiones reales de consumidores y no en situaciones hipotéticas.

**Las técnicas de mercados sustitutos** incluyen el cambio en la función de producción de la familia, el método de precios hedónicos y el método de costo de viaje.

**El cambio en la función de producción de la familia** supone considerar que los valores de los recursos ambientales se obtienen especificando relaciones estructurales entre servicios ambientales y otros bienes privados. Los gastos en bienes que son sustitutos o complementarios para la característica ambiental son utilizados para valorar cambios en el ambiente.

**El método del costo de viaje** utiliza justamente la observación de los gastos en un viaje a un sitio recreacional para estimar los beneficios de dicha experiencia. Por ejemplo, este enfoque tiene relevancia para valorar el ecoturismo. Puede ser utilizado también para estimar los beneficios de la conservación del bosque para combustible, es decir, se refiere a usar el tiempo de viaje como precio sombra (*proxy*) o estimador para hallar el valor del combustible, y del mismo modo para la oferta de agua. El problema aquí es que muchos sitios recreacionales no cobran una entrada, por lo que no es posible estimar una demanda. Sin embargo, observando cómo cada persona responde de manera distinta a varios costos de viaje, se infiere cómo responderá a los cargos por entrada.

La demanda producto del método del costo de viaje es interpretada como una demanda derivada por un servicio y depende de la habilidad del lugar de proveer dicha actividad. Por lo tanto, sólo son considerados los valores de uso. El método asume que los costos de las visitas pueden ser tomados como un indicador del valor recreacional, pero al igual que en

los demás métodos, existen una serie de elementos críticos como, por ejemplo, la posibilidad de viajes multipropósito.

En resumen, el método de costo de viaje es importante para evaluar la demanda de sitios recreacionales. Las técnicas utilizadas han mejorado notablemente, tanto desde el punto de vista empírico como del teórico. Existen reservas para utilizarlo porque el requerimiento de datos es tan grande que resulta costoso recogerlos y procesarlos. Las dificultades, con la estimación y el análisis de datos, se hacen más severas cuando el método se aplica a la valoración de un solo sitio recreacional asumiendo todas las alternativas constantes.

**El método de precios hedónicos** también supone una relación de complementariedad entre el bien privado y el ambiental. En este caso, el objetivo es estimar un precio implícito para los atributos de bienes con mercado, uno de ellos es un atributo ambiental. Así, el aire limpio o la paz y quietud constituyen aspectos negociables en el mercado dado que los compradores de casas y tierra consideran estas condiciones ambientales o características de la propiedad.

Para encontrar la función de demanda que relacione la cantidad de atributo ambiental con la disposición a pagar por éste, se deberá primero definir el bien privado; por ejemplo, las casas; y el atributo ambiental; por ejemplo, la calidad de aire. Luego, se especifica una relación funcional entre el precio de mercado y todos los atributos relevantes. Esta se llama función de precios hedónicos y se estima utilizando técnicas econométricas.

Existen algunos problemas con el método de precios hedónicos. Uno de ellos se refiere a que se incluye no sólo la valoración del consumidor actual, sino también los beneficios futuros esperados, lo que llevaría a sobreestimar la disposición a pagar. Asimismo, la posibilidad de mitigar posibles efectos ambientales debería ser incluida en el análisis.

La segunda categoría del enfoque indirecto de valoración se refiere a los **mecanismos convencionales de mercado**. Estas técnicas utilizan precios de mercado para valorar servicios ambientales que son afectados. Se pueden distinguir dos categorías: las técnicas de dosis-respuesta y el costo de reemplazo.

**Las técnicas de dosis-respuesta** suponen establecer una relación entre el daño ambiental (respuesta) y alguna causa como contaminación (dosis), dado que el nivel de contaminación se asocia con un cambio en el producto que tiene un valor de mercado. Ya que muchas veces los individuos no están conscientes de los efectos ocasionados, las medidas de revelar disposiciones directas a pagar no son apropiadas.

Esta técnica se ha utilizado mucho en aquellas relaciones en las que se conocen los daños; por ejemplo, efectos en salud (costo enfermedad), en pérdida de activos (cambios en productividad). Esta técnica es la más básica de todas.

El enfoque dosis-respuesta es una técnica que puede ser utilizada cuando las relaciones físicas y ecológicas entre contaminación y producto final o impacto sean conocidas. Este enfoque no estima valores de no uso. En el contexto de recursos biológicos, las aplicaciones a pesca, bosques y agricultura han sido satisfactorias.

**El costo de reemplazo** es una técnica que se fija en el costo de reemplazar o rehabilitar el activo dañado a su situación original y utiliza este costo como una medida del beneficio de restaurar. Este enfoque es muy utilizado debido a que es relativamente sencillo estimar dichos costos. La experiencia empírica ha demostrado que este enfoque es útil para estimar los servicios de protección de inundaciones y regulación del agua. Otras posibles aplicaciones incluyen el reemplazo de la medicina tradicional y los costos de seguro de cultivos.

Finalmente, **el costo de oportunidad** es una técnica que no pretende valorar beneficios, por el contrario, los beneficios de la actividad que causa el deterioro ambiental son estimados para que sirvan como límite (*benchmark*) o punto de referencia de lo que tiene que ser un beneficio ambiental. Esta no es propiamente una técnica de valoración, pero puede ser una medida de evaluación. Por ejemplo, se puede utilizar para indicar los retornos económicos como debe ser asegurar el uso de la biodiversidad, si esa tierra tiene usos alternativos.

Existen numerosos estudios de aplicación de los diferentes tipos de valoración económica, donde los estimados varían de acuerdo con el grado de sofisticación del método. Asimismo, no existe una cobertura homogénea en todos los temas, particularmente bosques tropicales y zonas costeras son los sujetos de estudio más comunes. Pearce y Moran (1994) realizan una exhaustiva revisión de los estudios realizados en el ámbito internacional y en INRENA *et al.* (2002) se describen los estudios nacionales más recientes en esta materia (Cuadro 3).

### **Consideraciones finales**

La economía está relacionada con la asignación de recursos para satisfacer necesidades humanas. Por lo tanto, la decisión de asignación de recursos está basada en los valores antropocéntricos de los mismos, es decir, el valor de acuerdo con su utilidad. A través de este punto de vista, la economía puede proveer una perspectiva útil e importante para la conservación de la biodiversidad. Además, la economía puede también proveer una gran cantidad de información sobre costos y beneficios del uso de recursos.

Por otra parte, los programas de conservación de la biodiversidad en el mundo incluyen una significativa proporción de tierras públicas designadas para parques, reservas, áreas protegidas o bosques primarios. Ello implica que una cantidad significativa de tierras permanecerán subdesarrolladas desde el punto de vista financiero. Los programas de conservación imponen costos de oportunidad significativos -en términos de las actividades extractivas dejadas de realizar- a las poblaciones locales y a los países en general. Para que los programas de conservación

**Cuadro 3.** Estudios sobre valoración realizados en Perú

<b>Título</b>	<b>Autor</b>
<b><i>I. Valoración de servicios ambientales</i></b>	
Valoración económica del servicio ambiental de captura de carbono en la zona de Neshuya-Curimaná, Pucallpa	Rody Balmaceda Astete
Valoración económica de la captura de carbono mediante simulación aplicado a la zona boscosa del río Inanbari y Madre de Dios	Pedro Chambi Condori
Estimación de la capacidad de captura de carbono en bosques secundarios del trópico amazónico como indicador de valoración económica Loreto-Perú.	Gustavo Malca Salas
Clasificación del riesgo del proyecto de captura de carbono para mejorar valor-precio de sus CERs.	José Salazar Barrantes
<b><i>II. Valoración de áreas naturales protegidas y de recursos marino-costeros</i></b>	
Valoración económica total de la diversidad biológica en Bahía Independencia, Reserva Nacional de Paracas	Mari Cuadros Dulanto
Aproximación a la valoración económica de la Reserva Nacional Pacaya Samiria	Carlos Diez Galindo
Valoración económica del Bosque de Protección Cordillera Escalera-San Martín	Alfredo Portilla Claudio
Valoración económica del sistema de Islas y Puntas Guaneras como una herramienta para la conservación de áreas marinas en el litoral peruano.	Ana Rivas Medina
Valoración económica de la diversidad biológica en el área de influencia de la Carretera Iquitos-Nauta	Hernán Tello Fernández
<b><i>III. Otras aplicaciones</i></b>	
Valoración económica de la diversidad biológica y de los bienes y servicios ambientales del paisaje cafetero peruano	Pedro Flores Tenorio
Valoración económica de la diversidad biológica y servicios ambientales en praderas altoandinas.	Luis Huerta Chombo
Aspectos económicos de la captura de carbono en especies nativas: Caso del Bosque de Queña Qocha, Ollantaytambo, Cusco, Perú	Hernán Mansilla Astete
Valoración económica del daño ambiental ocasionado por derrame de petróleo en la localidad de San José de Saramuro – Loreto	José Yparaguirre Lázaro

sean exitosos, se tiene que resolver este problema. Dichos programas deberán proveer la compensación necesaria o los incentivos a las poblaciones afectadas; de lo contrario, existirá siempre la presión para la reconversión de la tierra y la depredación de la diversidad biológica.

En este sentido, la valoración económica de los recursos es un elemento crítico en la toma de decisiones de política. La valoración depende de la naturaleza del recurso, por lo que es normal la existencia de controversias entre los mismos economistas sobre el método apropiado de valoración. El término “valor” tiene diferentes acepciones para economistas y ecologistas. Para los economistas, el valor de un recurso es determinado por su valor de uso marginal en la producción de bienes y servicios; para los ecologistas, el valor de los recursos se encuentra en la estabilización de los sistemas de soporte de vida que hacen posible la existencia humana, con lo cual su valor se hace infinito. Además, la biodiversidad en particular incluye consideraciones éticas sobre los deberes de las futuras generaciones y la responsabilidad sobre el mundo natural. Los esfuerzos de la valoración económica se encuentran en tomar una apropiada consideración de estos factores en su cuantificación.

En la medida en que los economistas logren entender mejor el significado e importancia de la diversidad biológica, y los ecologistas logren entender la lógica e importancia de la asignación eficiente de los recursos a través de mecanismos de mercado, los aportes para la conservación de la biodiversidad serán significativos.

**Referencias**

- Azqueta, D. 1994. Valoración Económica de la Calidad Ambiental. McGraw-Hill, Madrid, España.
- Hartwick, J. and N. Olewiler. 1998. The Economics of Natural Resource Use. Addison-Wesley, USA.
- Heal, G. 2000. Biodiversity as a Commodity. Graduate School of Business, Columbia University, NY, USA.
- INRENA, M. Glave, y R. Pizarro (eds.). 2002. Valoración Económica de la Diversidad Biológica y Servicios Ambientales en Perú. Lima, Perú.
- Pearce, D. and D. Moran. 1994. The Economic Value of Biodiversity. UICN – The World Conservation Union. Earthscan Publications, London, UK.
- Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCA). 2002. Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino. Lima: CAN/BID. Lima, Perú.
- Varian, H. 1993. Microeconomía Intermedia. Antoni Bosch Editores. España.



## **Decisiones del agricultor para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola**

### ***Alfredo Riesco de la Vega***

*Fue Director Ejecutivo del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU), Carr. Federico Basadre km. 4.2, Pucallpa, Perú. Desafortunadamente, perdió la vida en un accidente aéreo, años después de escribir este artículo.*

### **Introducción**

Existe un interés manifiesto de las comunidades amazónicas por conservar cierto nivel de diversidad agrícola en torno a cultivos básicos tradicionales de origen amazónico, como son: frijol (*Phaseolus* spp.), maíz, maní o cacahuate (*Arachis hipogea* L.), algodón, yuca (*Manihot esculenta* Crantz.), y ají o chile (*Capsicum* spp). El cuidado y manejo de estos cultivos y su diversidad intra-específica son realizados por las unidades familiares agrícolas incentivadas por diversos beneficios que brindan tanto el consumo de los productos de las variedades locales, como sus características de adaptación al medio.

La llegada de variedades comerciales de alto rendimiento y mercado seguro es a menudo acompañada con la apertura de crédito para semilla y otros insumos, y con algún nivel de asistencia técnica. Si bien el costo de flete determina un bajo precio a nivel de chacra (parcela de cultivo), las ventajas productivas suelen ser decisivas para que la familia siembre estas variedades comerciales y aumente su relación con el mercado. Las variedades comerciales compiten con las variedades locales por los escasos recursos de la unidad familiar productiva.

La mezcla de productos en la chacra va siendo dominada por las variedades comerciales, mientras que la conservación de las variedades locales depende fuertemente del valor que le otorgue la familia dentro de su función de utilidad o preferencias, y del comportamiento comparativo de adaptación al medio. Algunas variedades locales tienen suficientes atributos para el consumo que les permitirán satisfacer nichos de mercado, siempre que tal información llegue a un mínimo de eslabones de la cadena comercial. Es posible también que la base genética diversa local pueda manifestarse en mejoras en los atributos productivos y comerciales deseables. Esta capacidad aumenta el valor de las variedades locales. Lo importante es que el uso de estos atributos ocurra antes de que las familias agrícolas pierdan el interés por conservar una gran proporción de las variedades locales actualmente existentes.

Temas relativos a la situación actual del análisis económico de la conservación *in situ* de la diversidad cultivada fueron discutidos en una reunión internacional organizada por Bioversity International (antes IPGRI), en Gödöllo, Hungría, en mayo de 2002. Se revisaron métodos, se presentaron estudios de caso y se discutieron direcciones futuras de la investigación; un espacio muy amplio por llenar (para mayores detalles ver Smale *et al.*, 2002). En la Amazonía Central de Perú, se realizó -con auspicio de Bioversity y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU)- un análisis exploratorio de los factores relacionados con la diversidad cultivada por las comunidades amazónicas (Collado, 2002). Se encontró que la distancia al mercado y el grupo étnico eran las variables más importantes para explicar el número de variedades conservadas de seis cultivos de origen amazónico. Dentro de la misma iniciativa, Bioversity International, CODESU y el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) buscaron identificar y cuantificar con precisión los factores que afectan el comportamiento de las familias agrícolas amazónicas en torno a la diversidad cultivada; y auscultar el potencial de nichos de mercado de las variedades locales.

En el presente documento, después de revisar las bases teóricas que sustentan el análisis de consumidores y productores, se analizó el caso especial de las familias agrícolas, considerando la producción y consumo como interdependientes. Después, se presentó una propuesta para la estimación de efectos de variables económicas y socioculturales sobre las decisiones de conservación *in situ* de la diversidad agrícola en las comunidades nativas de la Amazonía Central de Perú.

### Modelos económicos de toma de decisiones

Las bases teóricas más utilizadas en microeconomía asumen racionalidad del consumidor y del productor en la toma de decisiones, confrontando varias opciones disponibles entre las cuales tiene que elegir, puesto que está sujeto a limitantes estrictas que tienen que ver con los recursos y la tecnología disponibles.

En el caso de las familias rurales, la producción y el consumo son funciones interdependientes, aunque en líneas generales pueden ser explicadas por la teoría microeconómica con algunos ajustes importantes. Los trabajos completos en cuanto a la teoría de producción y consumo en hogares rurales fueron condensados por Singh *et al.* (1986).

### Decisiones del consumidor

Se asume que el consumidor busca satisfacer una función de utilidad que depende de la cantidad consumida de ciertos bienes relevantes a la familia o al individuo. Esta búsqueda de utilidad o satisfacción -que se expresa como la maximización de la función de utilidad- está limitada por el presupuesto disponible. Matemáticamente, el proceso de maximización de utilidad se expresa como sigue:

$$\text{Max } U = U(\underline{X}) \quad (1)$$

donde  $\underline{X}$  es el vector de bienes consumidos por la familia incluyendo el consumo de ratos de ocio o tiempo libre, sujeto a dos limitantes:

a) Limitante presupuestal:

$$(\underline{P}_x) \underline{X} < P_t T + \pi + R \quad (2)$$

donde  $\underline{P}_x$  es el vector de precios de bienes consumidos; T es el tiempo total disponible en la mano de obra familiar;  $P_t$  es el salario aplicable a la familia;  $\pi$  es la ganancia neta proveniente de su actividad productiva; y R son otros ingresos.

b) Limitante de uso del tiempo:

$$X_t = T - N_t \quad (3)$$

donde  $X_t$  es el consumo de ratos libres o de ocio;  $N_t$  es el tiempo dedicado a la producción.

Como resultado de este proceso de maximización de utilidades, resolviendo las ecuaciones (1), (2) y (3), se obtienen las formas reducidas de las funciones de demanda de la familia, es decir, determinamos cuál es la mezcla de bienes que la familia decide consumir:

$$\underline{X} = \underline{X}(\underline{P}_x), P_t, \pi, R, T \quad (4)$$

La mezcla óptima de bienes que la familia consume depende de los precios de los bienes (a nivel de chacra), el nivel de salarios en la zona y los ingresos en general.

Para determinar el efecto de un cambio en cualquiera de las variables exógenas, como el precio de un bien sobre la mezcla de bienes consumidos, se obtienen las derivadas parciales respectivas. Algunos ejemplos de estos cambios en consumo determinados por cambios en los precios son:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_1}{\partial P_1} ; \frac{\partial X_1}{\partial P_2} ; \frac{\partial X_1}{\partial P_t} \dots \\ \frac{\partial X_1}{\partial P_1} \quad \frac{\partial X_1}{\partial P_2} \quad \frac{\partial X_1}{\partial P_t} \end{aligned} \quad (5)$$

que indican cómo cambia el consumo del bien 1 cuando su precio se eleva en una unidad; o cómo cambia dicho consumo cuando se eleva el precio del bien 2; o cómo lo hace cuando se eleva el salario en la zona; respectivamente.

### Decisiones del productor

La racionalidad que asume la teoría con las limitaciones derivadas de la búsqueda de simplificación implica que el productor actúa como un microempresario que busca maximizar ganancias netas, limitado por el acervo o existencia de recursos con los que cuenta y por la tecnología disponible.

Matemáticamente, la maximización de ganancias netas se expresa como:

$$\text{Max } \pi = \underline{P} \underline{Q} - P_v N_v - P_t N_t \quad (6)$$

donde  $\underline{P}$  y  $\underline{Q}$  son vectores de precios y cantidades producidas;  $P_v$  y  $N_v$  son vectores de precios y cantidades de insumos utilizados en la función de producción; y  $P_t$  y  $N_t$  tienen la misma definición que se hizo en (2) y (3).

La maximización de ganancias netas está sometida a la *limitación de la tecnología*, dada por la función de producción que se puede expresar como:

$$\underline{Q} = \underline{Q} (N_v, N_t, K) \quad (7)$$

donde K representa los recursos de capital, incluyendo el capital natural disponible, como el tipo de suelo.

Como resultado de este proceso de maximización de utilidades, resolviendo el sistema de ecuaciones (6) y (7), se obtienen las funciones de demanda de insumos y de oferta de productos; es decir, cuál es la mezcla óptima de cultivos que la familia decide producir y la cantidad de insumos que usará. Estas funciones se pueden expresar como:

$$\underline{N} = \underline{N} (P, P_v, P_t, K) \quad (8)$$

$$\underline{Q} = \underline{Q} (P, P_v, P_t, K) \quad (9)$$

Es decir, tanto la demanda de insumos como la oferta de productos de la familia dependen de los precios de productos, insumos, salario y capital disponible.

Para conocer el efecto de un cambio en uno de los precios sobre la cantidad producida de un bien o sobre la demanda de semilla o mano de obra, se deben obtener las derivadas parciales respectivas. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_2}{\partial P_1} ; \frac{\partial Q_3}{\partial P_1} \\ \frac{\partial N_2}{\partial P_1} \quad \frac{\partial Q_3}{\partial P_1} \end{aligned} \quad (10)$$

que indican cómo varía la demanda del insumo 2 cuando sube el precio del producto 1; y cómo varía la oferta del producto 3 cuando sube el precio del producto 1, respectivamente.

Desafortunadamente, estos modelos que explican decisiones de cuánto consumir por un lado, y cuánto producir y cuánto de insumos emplear, por el otro, asumen independencia entre las decisiones y la existencia de mercados competitivos para todos los productos.

### Economía de las familias agrícolas

Tal como se señaló en la introducción, el desarrollo rural implica una cada vez mayor exposición de las comunidades rurales al mercado, tanto para comprar algunos productos como para vender otros.

La exposición de las familias agrícolas a nuevas opciones productivas o a la demanda de productos de variedades comerciales implica una serie de cambios en la economía rural. ¿Cuánto de esta variedad comercial producirán?, ¿Qué dejarán de producir y cuánto? ¿Cómo se afectará el consumo y la dieta de las familias?, ¿Cómo se afectará la demanda total de mano de obra familiar y contratada? Mayores ingresos debido a mayores ganancias netas en la actividad productiva traen consigo mayor demanda de bienes comprados en el mercado y el establecimiento de pequeños comercios.

El diseño de un modelo que capture con suficiente precisión las decisiones de producción, consumo y oferta de mano de obra de las familias agrícolas permitirá estimar los cambios mencionados y tomar las medidas de política o de investigación apropiadas, especialmente las dirigidas a incentivar la conservación de la agrobiodiversidad.

Las familias de las comunidades amazónicas dentro del ámbito del proyecto son semi-comerciales, porque parte de su economía se realiza con dinero proveniente de la venta de productos agrícolas, de pesca, de caza, y empleo de mano de obra fuera de la chacra o parcela. Los productos más importantes que se compran con frecuencia en el mercado son fideos, azúcar, sal, atún enlatado, galletas, telas, ropa y semillas.

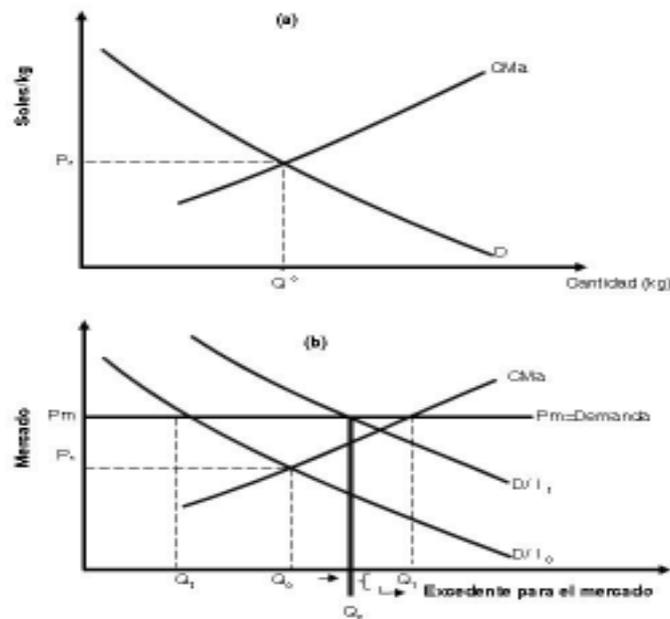
Existe además un mercado interno constituido por actividades de intercambio, mayormente en especie, de productos comerciales como maíz, maní o cacahuate y frijol. Sin embargo, la actividad más frecuente de intercambio son los préstamos. En el caso de productos no comerciales, lo más frecuente es compartir gratuitamente entre vecinos cercanos y familiares. Cuanto más grande es la comunidad, tanto mayor es el intercambio de productos donde es posible asignar valores relativos a las diferentes variedades.

Para el análisis microeconómico, la existencia de precios exógenos es importante para definir modelos de estimación relativamente sencillos. Desafortunadamente, en el caso de varios productos y variedades, aún no se ha desarrollado el mercado o los costos de flete hacen inviable el intercambio con el mercado. En estos casos, los precios son endógenos o virtuales: dependen de las decisiones de producción y consumo de las familias. Esta situación complica los modelos de estimación de oferta y demanda a nivel de comunidades.

Si existieran precios de mercado para la familia agrícola, sus decisiones de oferta de productos y demanda de mano de obra y de semillas serían independientes de la decisión de cuánto consumir. Sin embargo, la decisión de qué consumir y cuánto siempre dependerá de los ingresos obtenidos de la producción. Por esto, se dice que los modelos de producción y consumo en las familias agrícolas con acceso al mercado es recursivo (Singh *et al.*, 1984).

Cuando la familia no tiene acceso al mercado en algún producto, los precios son virtuales y dependientes de sus decisiones de producción y consumo. Así, por ejemplo, en la Figura 1 se ilustra esta situación en el panel (a): una posición de equilibrio de una familia sin mercado externo que decide cuánto producir y que coincide con la cantidad que consume ( $Q_0$ ) en un punto donde el precio virtual o sombra es  $P^*$ . La oferta familiar está dada por la curva de costo marginal (C<sub>Ma</sub>), y la demanda familiar está dada por la disposición para pagar ( $D/I_0$ ), (Hirshleifer y Glazer 1994). La disposición a pagar se puede estimar con algunas dificultades mediante métodos de valoración contingente y mercados o subastas experimentales (por ejemplo, Alfnes y Rickertsen 2003; Quiggin 1998; Fox *et al.* 1998).

En el panel (b) de la Figura 1, se muestra la súbita presencia del mercado con una demanda externa que fija el precio  $P_m$ . La nueva demanda implica un nuevo punto de equilibrio para la producción total en la chacra ( $Q_1$ ) o parcela. El consumo de este producto por la familia tiene una posición temporal en  $Q_t$ . Sin embargo, el ingreso nuevo proveniente de la producción aumenta la demanda hasta la curva  $D/I_1$ ; y la decisión de consumo lleva a la cantidad  $Q_c$ , que resulta mayor que  $Q_0$  antes de ingresar al mercado. El excedente para el mercado es entonces la diferencia entre  $Q_1$  y  $Q_c$ .



**Figura 1.** Definición de producción y consumo de un producto en una familia sin mercado externo (a), y después, con una demanda externa por el producto en referencia (b), donde Q son cantidades (kg), CMa es la función de costo marginal u oferta del agricultor, D es la función de demanda,  $D/I_0$  y  $D/I_1$  son demandas con un ingreso inicial y con un ingreso mayor producto de la participación en el mercado, respectivamente, y  $P_m$  es el precio de mercado.

El parámetro generalmente usado para describir la respuesta en la demanda de la familia es la elasticidad en el precio. En el Cuadro 1, se presentan las elasticidades de la demanda del producto agrícola más importante, de la demanda por bienes comprados y de la oferta de la mano de obra familiar en varios países tropicales.

**Cuadro 1.** Elasticidades de la demanda para consumo y oferta de trabajo con respecto al precio del producto agrícola.

País	Consumo del producto agrícola ( $X_a$ )	Consumo de bienes Comprados	Oferta de trabajo
Taiwán	0.22	1.18	-1.59
Malasia	0.38	1.94	-0.57
Tailandia	-0.37	0.51	-0.62
Nigeria	0.19	0.57	-0.06

Fuente: Singh *et al.* (1986)

Observamos que el incremento del precio del producto agrícola tiene un efecto positivo en el consumo de dicho producto en las familias productoras, con excepción de Tailandia. El efecto positivo en el consumo es contrario a la respuesta clásica esperada en la teoría de la demanda, debido al efecto de ingreso que se genera en las familias agrícolas por el alza en el precio.

Si el precio de un producto agrícola aumenta, se producen dos fenómenos: a) la familia se beneficia como productora; y b) se perjudica como consumidora. Si la familia es *productora neta*, su beneficio neto será positivo, es decir, también consumirá más.

También, se observa un efecto positivo del aumento de precio del producto agrícola sobre el consumo de bienes comprados en el mercado, debido al incremento en el ingreso. Por otro lado,

resulta interesante observar cómo las familias agrícolas en estos estudios disminuyen su oferta de mano de obra ante un incremento en el precio del producto agrícola, lo cual se debe al efecto que tiene el mayor ingreso sobre la decisión de aumentar los ratos libres o de ocio, que es considerado como un bien normal.

En el análisis de las decisiones de las familias agrícolas, existen otros elementos que pueden resultar relevantes para el caso de las comunidades nativas amazónicas y cuya importancia real debería investigarse. Se trata de las actitudes frente a los riesgos en la función de producción; a las características del mercado laboral o a la existencia de un salario exógeno para los miembros de la familia; y a la relevancia del mercado para los cultivos de importancia en la economía familiar (ver Singh *et al.* 1986).

## Propuesta para la estimación de efectos sobre las decisiones de conservación *in situ* de las comunidades nativas

### Lo que necesitamos saber y las bases teóricas

Necesitamos resolver cuatro tipos de incógnitas, para cada una de las cuales proponemos un método de estimación y análisis.

**a) Cambios en la producción.** Se trata de cuantificar el efecto de cambios en el precio de variedades comerciales, en el precio de bienes comprados y en el salario, sobre el volumen total de variedades locales. Asimismo, se trata de estimar el efecto que sobre esta variable tienen los diferentes suelos disponibles (altura, restingas\* altas y restingas bajas)

La estimación de estos efectos puede basarse en la teoría de producción o maximización de ganancias que define las funciones de oferta (ver la sección de decisiones del productor).

$$Q_{ai} = Q_{ai}(P_{ai}, P_{cj}, P_t, P_{vi}, S) \quad (11)$$

donde :  $Q_{ai}$ , volumen producido de la variedad local i

$P_{ai}$ , precio de la variedad local i

$P_{cj}$ , precio de la variedad comercial j

$P_t$ , salario correspondiente a la mano de obra familiar

$P_{vi}$ , precio de la semilla de la variedad i

S, tipo de suelo predominante en la chacra o parcela.

Estas funciones incluyen: los precios de los productos, el precio de la semilla y de la mano de obra familiar que son los principales insumos utilizados en las comunidades, y el tipo de suelo.

Como veremos más adelante, algunas variables  $P_{ai}$  y, en muchos casos,  $P_t$  y  $P_{vi}$  pueden ser precios virtuales que no son independientes de las decisiones de consumo de la familia. Si estas circunstancias ocurren, la función de oferta no podrá ser estimada en forma independiente.

**b) Cambios en el consumo.** Se trata de cuantificar el efecto de cambios en el precio de variedades comerciales, variedades locales, de otros bienes, y salarios sobre la dieta de las comunidades y, en particular, el consumo de variedades locales. Asimismo, se trata de determinar el efecto que sobre esta variable tienen determinadas características demográficas y aquellas relativas a los diferentes grupos étnicos.

---

\* Las restingas son lugares que se inundan temporalmente durante la estación de lluvias y donde al bajar el nivel del agua hasta casi secarse, se observan varios depósitos descompuestos o en proceso de descomposición (todas las plantas ahí descompuestas más la tierra que arrastra el agua), lo que hace que estos terrenos sean los más fértiles para la siembra de los cultivos.

La estimación de decisiones de consumo de la familia pueden basarse en la teoría del consumidor o maximización de utilidad en cuyo proceso se definen las funciones de demanda (ver la sección de decisiones del consumidor)

$$X_{ai} = X_{ai}(P_{ai}, P_{cj}, P_t, P_m, D, \pi) \quad (12)$$

donde  $X_{ai}$ , cantidad consumida variedad  $i$

$P_m$ , precio de otros bienes de mercado consumidos en la familia

$D$ , características demográficas de la familia

$\pi$ , ganancia neta de la familia en producción.

En el caso de la demanda, es importante que se considere el precio de bienes comprados por la familia como azúcar, fideos y enlatados, que pueden ser bienes sustitutos o complementarios a las variedades locales. También, deben incorporarse variables que tengan que ver con la estructura y tamaño de la familia. Para la estimación de la demanda, es necesario calcular la ganancia neta obtenida de la producción, la cual incluye tanto la producción consumida por la familia como el excedente que se vende en el mercado.

**c) Valor relativo de las variedades locales en las comunidades nativas.** Se trata de determinar el valor relativo de las variedades locales para cada comunidad en estudio. Estaríamos logrando una estimación del precio de las variedades locales que, en muchos casos, es un precio virtual, no exógeno a las decisiones de la familia.

La base teórica que soporta este análisis es la definición de los excedentes del consumidor o la disposición a pagar (a consumir) de acuerdo con el precio al que sea ofrecido el producto. Se trata de aproximar la función de demanda o disposición para pagar mediante entrevistas y experimentos de subastas.

**d) Potencial de mercado.** Se busca determinar el valor relativo de las variedades locales en el mercado urbano, con la finalidad de auscultar el potencial de éstas en el mismo. La información de valor pasa necesariamente por un proceso de información y conocimiento de los atributos de las variedades locales para satisfacción de los consumidores urbanos.

La base teórica, igual que en caso (c), es el de excedentes del consumidor o la disposición a consumir el bien ante diferentes niveles de precio. Las entrevistas se efectúan en varios estratos representativos de la población. Las entrevistas pueden incluir experimentos de subastas, como se indicó en el punto (c), para mejorar las estimaciones.

### Modelos de Estimación

Para la estimación de las funciones de oferta (ecuación 11) y de demanda (ecuación 12), se establecerán sistemas logarítmicos lineales (*translog*) de ecuaciones. Esta especificación es muy flexible y permite aproximar una gran variedad de formas funcionales (Johnston 1984); además, ha sido empleada en diversos estudios para estimar la demanda de bienes (Lau *et al.*, 1978; Kuroda y Yotopoulos 1980; Adulavidhaya *et al.*, 1984) y para estimar funciones de producción (Christensen *et al.*, 1973).

En el caso de la determinación de la demanda de variedades locales tanto a nivel de comunidades rurales como a nivel urbano, la valoración contingente de la cantidad consumida o comprada va a tener un número importante de ceros en las observaciones. Debido a esta característica, es necesario utilizar un modelo Tobit de estimación para evitar sesgos en los estimadores de los coeficientes de las funciones de demanda (Amemiya, 1984). Un estudio similar ha sido realizado para dietas de maíz en Malí (Boughton *et al.*, 1999) y para estimar la demanda de agua en India (Griffin *et al.*, 1995).

### **Toma de datos**

El análisis de factores que afectan la oferta y demanda a nivel de familias de agricultores se puede hacer sobre la base de información de sección cruzada, es decir, con datos tomados a través de encuestas en un momento determinado en el tiempo.

La información sobre la variable dependiente -en caso de la función de oferta- consiste en cantidades producidas por campaña de las variedades o productos de interés y de otros productos. Si los otros productos no son importantes en términos de área o valor para la familia, entonces se pueden considerar en forma agregada, por grupos de productos afines.

En el caso de la demanda familiar, las variables dependientes son las cantidades consumidas por la familia por semana o por mes. Como se requiere alguna dispersión en los precios, resulta conveniente establecer un ámbito geográfico amplio puesto que las diferencias en las distancias al mercado, y por consiguiente, en los costos de distribución, se traducen en precios en chacra diferentes a lo largo de la muestra.

Debido a la gran cantidad de bienes que entran en las decisiones de consumo, puede ser conveniente construir índices de precios por grupos de bienes; sin embargo, se deben mantener desagregados los precios de los productos y variedades que son el foco del análisis.

También se requiere identificar el precio de la semilla en los casos que sea diferente al del producto para consumo, el precio del salario que recibiría la mano de obra familiar en alternativas de empleo fuera de su propia chacra o parcela. Estos son los principales insumos en el caso de las comunidades nativas. Si existiera otro insumo importante, se tomaría también el precio en chacra de éste.

Para la función de oferta, es necesario tomar en cuenta variables independientes específicas para esta función, como el tipo predominante de suelos para cultivos, que puede entrar como una o más variables dicótomas: presencia o no de restingas altas, restingas bajas y de terrenos de altura.

En el caso de la estimación de la demanda familiar, se deben incorporar variables específicas de esta función, como son aquellas relativas al tamaño de la unidad familiar y al número de niños; también, la ganancia neta proveniente de la producción, que viene a ser el ingreso más importante de la familia agrícola.

El tamaño de la muestra es importante por la cantidad de variables que entran en el análisis estadístico que disminuyen los grados de libertad. Sin embargo, se deben hacer esfuerzos especiales para obtener información precisa en cada observación, de manera que se reduzca el tamaño del error total. Para las condiciones de las comunidades amazónicas y teniendo como objetivo el análisis de factores que afectan la conservación de variedades locales, proponemos una muestra de alrededor de 200 observaciones en las 17 comunidades y en los tres valles de la Amazonía Central en estudio.

### **Problemas esperados**

El problema más difícil que puede surgir proviene de la ausencia de mercados o la existencia de mercados incompletos para algunas variedades locales. Si los productos de algunas variedades se producen y consumen en la misma unidad familiar y no hay opción de venderlos, entonces sólo existe un precio virtual o precio sombra que no es independiente de las decisiones de producción y consumo de la familia.

Estos casos se traducen en problemas de estimación de la oferta y la demanda en las comunidades. El investigador no sabría cuál es el precio para incorporar en la base de datos y efectuar el análisis estadístico.

Esto mismo puede ocurrir con el salario atribuible a la mano de obra familiar por su trabajo, si no existiera un mercado laboral que señale un precio exógeno o independiente y su costo de oportunidad.

Se puede identificar el valor relativo del producto de algunas variedades en función de las relaciones de intercambio que siempre se dan entre vecinos o miembros de la comunidad, ya sea como trueque o venta. Sin embargo, lo más común son los préstamos que se devuelven con la misma especie. Estos términos de intercambio distan mucho de los precios de equilibrio en un mercado en competencia perfecta.

En los análisis de contingencias, se necesita mucha creatividad para plantear e ilustrar claramente el ambiente imaginario que se requiere para ir identificando la disposición a pagar o a consumir, especialmente en las comunidades nativas donde no existe mucha experiencia con el mercado. Sin embargo, la participación de las comunidades nativas en el mercado en el ámbito del proyecto es importante y creciente. Actualmente, el plátano es la principal fuente de dinero en las comunidades Shipibo de Ucayali Medio; mientras que la venta de mano de obra es la principal fuente de dinero en las comunidades Ashaninka del valle Pichis-Pachitea.

### **Conclusiones**

Las decisiones de las familias agrícolas en relación con la conservación *in situ* de variedades locales se enmarcan -en opinión del autor- en la teoría económica de utilidad y producción. Los modelos económicos de toma de decisiones a nivel de familia agrícola permitirán cuantificar los efectos de la exposición al cambio en los precios de las variedades comerciales o de las variedades locales, y al cambio en el salario.

Si los precios son exógenos, las decisiones de producción de las familias agrícolas son independientes a las de consumo, pero estas últimas dependen de las decisiones de producción debido al efecto del ingreso neto. Si no existe participación en el mercado, los precios serán virtuales y dependerán de las decisiones de la familia tanto de producción como de consumo.

Las comunidades nativas amazónicas son semi-comerciales. La oferta de productos importantes para las familias puede definirse en función del precio de los productos, el salario local, el precio de las semillas y el tipo de suelo. Sin embargo, las variedades locales sin precio en el mercado externo tienen un precio virtual que puede estimarse mediante análisis de contingencia tanto a nivel de familias rurales como a nivel de consumidores urbanos.

Para el proyecto BIOVERSITY-CODESU-INIA sobre la diversidad cultivada, se propone la realización de encuestas específicas con un tamaño de 200 observaciones, para 17 comunidades nativas dispersas en tres valles de la Amazonía Central de Perú.

El proyecto busca identificar y cuantificar los factores que afectan el comportamiento de las familias agrícolas amazónicas y estimar el potencial de demanda urbana de las variedades locales más importantes de la región.

### **Referencias**

- Adulavidhaya, K., Y. Kuroda, L. Lau, P. Lerttamrab, and P. Yotopoulos. 1979. A microeconomic analysis of the agriculture of Thailand. *Food Research Institute Studies* 17: 79–86.
- Alfnes, F. and K. Rickertsen. 2003. European consumers' willingness to pay for U.S. beef in experimental auction markets". *Amer. J. Agr. Econ.* 80-2, 396-405.
- Boughton, D., T. Reardon and J. Wooldridge. 1999. Determinants of diversification of Urban Sahel diets into maize: A contingent valuation study of processed maize demand in Mali. *In: Peters GH and von Braun J, editors. Food Security, Diversification and Resource Management: Refocusing the Role of Agriculture (Proceedings of the XXIII International Conference of Agricultural Economists. Sacramento, California, August 10-16, 1997. Aldershot, Ashgate, USA, pp. 317-324.*

- Collado P., L. 2002. Diversidad cultivada y socio-cultural en la Amazonía Central de Perú. Tesis MS. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú.
- Fox, J., J. Shogren, D. Hayes and J. Kliebenstein. 1998. CVM-X: Calibrating Contingent Values with Experimental Auctions. *Amer. J. Agr. Econ.* 80-3, 455-465.
- Hirshleifer, J. and A. Glazer. 1994. *Price Theory and Applications*. Prentice Hall, NJ, USA.
- Johnston, J. 1984. *Econometric Methods*. Mc Graw-Hill. USA.
- Quiggin, J. 1998. Individual and Household willingness to pay for public goods. *Amer. J. Agr. Econ.* 80-1, 58-63.
- Singh, I., L. Squire, and J. Strauss. 1986. *Agricultural household models, extensions, applications and policy*. Washington DC, World Bank, John Hopkins University Press. USA.
- Smale, M., I. Mar and D. Jarvis. 2002. *The Economics of Conserving of Agricultural Biodiversity on-Farm: Research method developed from IPGRI's Global Project 'Strengthening the Scientific Basis to In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity'*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Yotopoulos, P., L. Lau, and W. Lin. 1976. Microeconomic output supply and factor demand functions in the agriculture of the province of Taiwan. *Amer. J. Agric. Econ.* 58:333-340.

## **Conservación *in situ* de la agrobiodiversidad en la Amazonía Central peruana: resultados preliminares**

**Luis Angel Collado<sup>1</sup>, María Arroyo<sup>1</sup>, Alfredo Riesco<sup>1</sup> y José Luis Chávez Servia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Consortio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali, Centro Ecorregional, Carretera Federico Basadre, Km. 4.2, Pucallpa, Perú, (Email: codesu@terra.com.pe).

<sup>2</sup>Bioversity International (antes Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos-IPGRI), Oficina Regional para las Américas, c/o CIAT A.A. 6713 Cali, Colombia. (Dirección actual: CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, Hornos #1003 Col. Nochebuena, C.P. 71230 Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México (Email: jchavezservia@yahoo.com)).

### **Introducción**

En mayo del 2001, se inició el proyecto “Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola en fincas: Perú”, en el marco regional y global del proyecto del mismo nombre que opera en nueve países (Burkina Faso, Marruecos, Hungría, Turquía, Etiopía, Vietnam, Nepal, México y Perú). El enfoque global de investigación del proyecto está orientado por cuatro preguntas básicas: (1) ¿Cuál es la magnitud y distribución de la diversidad genética mantenida por los agricultores a través del tiempo y del espacio?; (2) ¿Cuáles son los procesos utilizados para mantener la diversidad genética en campo de los agricultores?; (3) ¿Quién mantiene la diversidad genética dentro de las comunidades de agricultores (hombres, mujeres, jóvenes, ancianos, ricos, pobres, ciertos grupos étnicos)?; (4) ¿Qué factores influyen (factores mercantiles, no mercantiles, sociales, ambientales) en las decisiones de los campesinos para preservar sus variedades tradicionales? Las respuestas a estas preguntas ayudarán a desarrollar métodos para comprender mejor el uso de los recursos genéticos cultivados en el área de desarrollo agrícola local, regional y nacional.

En la primera fase del proyecto de Perú, la meta principal fue realizar un diagnóstico rápido para la comprensión e integración de los aspectos sociales, culturales, económicos, ecológicos y su relación con la genética de la diversidad cultivada de yuca, maíz, maní (cacahuate), frijol, ají (chile) y algodón. El ámbito de estudio es la Amazonía Central peruana, e involucra a comunidades de las etnias Shipibo-Conibo, Ashaninkas y Cashibo-Cacataibo. Estos agricultores tradicionales continúan empleando el sistema agrícola tradicional de roza, tumba y quema (agricultura itinerante o *slash-and-burn*) en cultivos nativos; sin embargo, existe un creciente aumento en las presiones económicas y culturales sobre las comunidades. La erosión genética de las especies y variedades cultivadas nativas en la región está ocurriendo como resultado de: la deforestación, el proceso de aculturación étnica, explotación petrolera, migración, colonización, apertura de terrenos a cultivos agrícolas y el desplazamiento por cultivos exóticos, entre otros factores.

Frente a esta situación, el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU), conjuntamente con el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA, Pucallpa) y Bioversity International (antes IPGRI), formula el proyecto arriba mencionado y en los años recientes reorientó sus actividades con el propósito de fortalecer y fundamentar un marco de conocimientos sobre los procesos de toma de decisiones del agricultor que influyen en la conservación *in situ*. En este artículo, se presenta el marco de referencia y algunos resultados preliminares del proyecto referido.

## **Metodologías**

### **Ambito de trabajo**

El trabajo se desarrolló en la región comprendida entre los departamentos de Ucayali-Huánuco-Pasco de la selva central de Perú. La región objetivo está dominada por los ríos Aguaytía, San Alejandro, Ucayali, Pachitea y Pichis e incluye un intrincado sistema de serpenteantes planicies anegadizas, lagos de recodo, canales y pantanos, limitados por planicies interfluviales ligeramente altas. La región está cubierta por una densa selva tropical con precipitaciones comprendidas entre 1,000 y 3,000 mm; de ahí que los ríos incrementen sus cauces hasta 10 m de su nivel normal (Cecchi, 1999). Para su estudio, se dividió en tres subregiones: 1) Alto Ucayali, 2) Valle del Aguaytía y 3) Valle del Pichis-Pachitea, las cuales presentan condiciones particulares que influyen en las actividades agrícolas de las comunidades nativas asentadas en los valles.

**Subregión Valle del Aguaytía.** Se encuentran asentadas las etnias Shipibo-Conibo, Cashibo-Cacataibo y Ashaninka. La zona esta dominada por los ríos afluentes del río Ucayali: Aguaytía y San Alejandro; y presenta una topografía ondulada, con formaciones de restingas medias y altas (suelos temporalmente inundados), así como suelos de altura. En los suelos de altura, las inundaciones son ligeras y de poca duración (horas); aunque ocasionalmente ocurren grandes inundaciones que ocasionan pérdidas económicas a los agricultores (Figura 1).

En la **subregión del Alto Ucayali**, están localizadas las comunidades que pertenecen al grupo Shipibo-Conibo, a orillas del río Ucayali en zonas pertenecientes a la llanura aluvial que contienen sedimentos transportados por los ríos desde las montañas; por lo cual, la calidad de estos suelos depende de la cantidad de materia orgánica depositada. El río Ucayali deja en su recorrido formaciones de complejos orillares, acumulaciones de arena y terrazas que forman las “playas” (bancos de arena), los barrizales\* (inundados por varios meses), las restingas bajas, medias y altas y los suelos de altura. La vegetación es variada y asociada a las zonas bajas y restingas. El río Ucayali en épocas lluviosas presenta cursos inestables que influyen en las actividades de los agricultores (Figura 1).

**Subregión del Pichis–Pachitea.** Dominada por el río Pachitea, su orografía es ondulada, la formación de suelo predominante es de altura, generalmente no inundable, de mediana fertilidad. En este caso, el río es de curso más definido con grandes inundaciones ocasionales. El bosque del lugar diversificado y más alto que en otras subregiones (Figura 1).

### **Consideraciones socio-culturales**

El Amazonas Central de Perú está habitado por diferentes grupos indígenas. En este trabajo, la etnicidad y el rasgo socio-cultural de las comunidades fueron algunos de los ejes más importantes. Para este enfoque, se planteó la siguiente pregunta: ¿Existen entre comunidades diferencias en la conservación, diversidad, uso y manejo de las variedades locales?

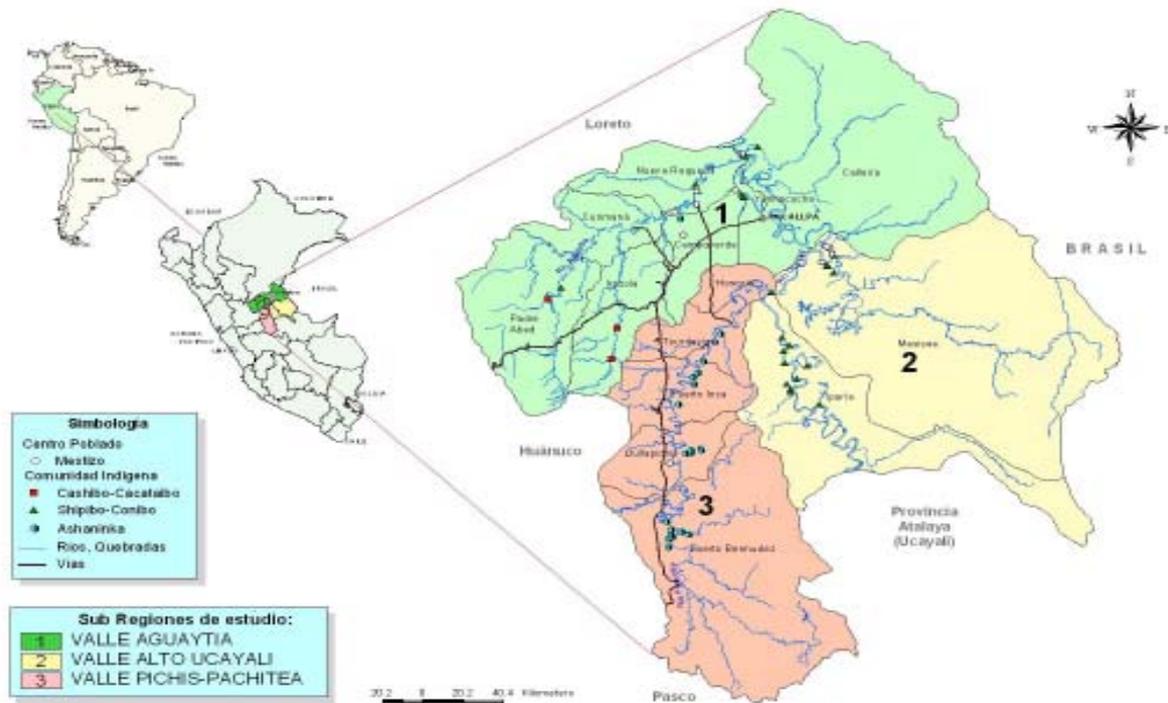
En términos de la identidad socio-cultural y de la autodenominación indígena, fueron visitadas las comunidades Ashaninka, Shipibo-Conibo, Cashibo-Cacataibo, y las denominadas como mestizas o de colonos.

### **Comunidades y cultivos objetivo**

En la primera etapa del proyecto, se realizó un diagnóstico rápido en 13 comunidades, acerca de la percepción que tienen los agricultores sobre su diversidad cultivada. Este diagnóstico permitió cuantificar, en forma general y rápida, la diversidad de variedades locales de acuerdo con la

---

\* Los barrizales generalmente son lugares o depósitos de sedimentos muy finos (limo o arcilla) arrastrados por las corrientes de agua y depositados en los márgenes de los ríos o en pequeñas lagunas que se forman con el aumento del nivel del agua.



**Figura 1.** Distribución de los grupos socio-culturales, las comunidades y las subregiones de estudio en la Amazonía Central peruana.

percepción y criterios utilizados por los agricultores; y obtener información sobre algunos factores sociales, demográficos y económicos que afectan la conservación de esta diversidad. Para la segunda etapa, el trabajo se amplió hasta un total de 35 comunidades.

Los cultivos de atención fueron yuca (*Manihot esculenta* Crantz.), maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *P. Lunatus* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.), ají –chile– (*Capsicum annum* L. y *C. chinense* Jacq.), y algodón (*Gossypium barbadense* L. y *G. hirsutum* L.). La descripción de las variedades locales se obtuvo a partir de dos fuentes de información:

- 1) La proporcionada por los informantes clave (hombre o mujer cabeza de familia), al momento de ejecutar un cuestionario por cada parcela visitada.
- 2) Datos complementarios provenientes de los talleres de participación campesina (TPC).

La descripción de las variedades locales se basó en las características morfológicas, reproductivas y de uso. En estos talleres, la participación de la mujer fue más restringida en el grupo Shipibo-Conibo, debido a su propia cultura y, en parte, por el limitado conocimiento de la lengua Shipiba, por parte del investigador. El tamaño promedio de los grupos en los talleres fue de 25 hombres y 18 mujeres. La verificación de la descripción y clasificación en géneros, especies y variantes dentro de la variedad local, se realizó con el nombre asignado por los agricultores a través de la observación directa de la morfología de cada variedad, y mediante un registro y comparación fotográfica en algunos de los casos cuando las variantes presentaban cierto parecido fenotípico (Collado, 2002).

### Registro de datos y análisis

El procedimiento fue el siguiente: la cuantificación de la diversidad cultivada se obtuvo mediante la exploración y colecta de muestras de germoplasma en función de las particularidades de cada cultivo. Los criterios empleados fueron flexibles en función del tamaño de la parcela sembrada del agricultor, semilla almacenada y del número de plantas o tamaño de la población cultivada. La

muestra de semilla fue donada por el agricultor y el muestreo fue de forma individual, masal y/o muestras combinadas. Las decisiones de tamaños de muestra se anotan en el Cuadro 1. Se utilizó una ficha de datos de pasaporte para la identificación de la muestra.

**Cuadro 1.** Estrategia de colecta: tipo y tamaño de muestra establecida

Cultivo	Tipo de muestra	Tamaño de muestra
Maíz	Grano/semilla	30 mazorcas o 1.6 kg de muestra
Frijol	Grano/semilla	30 plantas o 1 kg de muestra
Maní (cacahuete)	Vaina	30 plantas o 1 kg de muestra
Ají (chile)	Fruto	El mayor número de plantas posible
Algodón	Fruto	El mayor número de plantas posible
Yuca	Estacas	30 plantas y de 30 a 50 estacas por variedad local

El secado del material -excepto la yuca- se realizó con exposiciones al sol y con gel de sílice. Se ajustó el porcentaje de humedad de 9 a 14% para mantener una adecuada viabilidad y constituir lo que se llamó muestra de estudio. Después de realizados los procesos de limpieza, secado, pesado y envasado; se colocó el material en una cámara fría, a una temperatura de 3 a 5°C.

Hasta el momento, se han aplicado 110 cuestionarios a una muestra por comunidad del 20 al 25% de jefes de las familias de 35 comunidades nativas (Shipibo-Conibo, Ashaninkas y Cashibo-Cacataibo) y mestizas. Las preguntas centrales tuvieron el objetivo de captar información acerca de los nombres locales de las variedades y los factores que afectan las decisiones de conservación, accesibilidad al mercado, migración, estatus económico, educación, ingreso económico y valor de la producción. Con los datos económicos de diversidad de actividades productivas y medios de producción, se clasificaron las familias en tres estatus económicos: alto, medio y bajo. El acceso al mercado fue estimado de manera indirecta mediante el costo del transporte de un saco de 50 kg de la comunidad al mercado más cercano.

Para el análisis de la información, se utilizó la estadística descriptiva, se calcularon los índices de diversidad (Shannon-Weaver, riqueza varietal) y un análisis de regresión lineal múltiple para determinar el efecto de los factores socio-económicos-culturales en el total de diversidad preservada. Los índices y el análisis de regresión fueron preliminares o parciales, a una base de datos de 13 comunidades, debido a que no se disponía de los datos completos de todas las comunidades.

La base de datos electrónica referente a la ubicación georeferencial de la comunidad y de las muestras de semillas fue útil para realizar un mapa de las comunidades y diversidad cultivada utilizando los paquetes Arcview GIS 3.2 y DIVA-GIS versión 5.2.

### **Resultados y discusión**

En total, fueron visitadas 35 comunidades. Las comunidades Shipibas, Cashibo y de colonias mestizas se encuentran comúnmente en las planicies de suelos anegables, regularmente desde noviembre a febrero. En contraposición, las comunidades Ashaninkas generalmente se encuentran en los agroecosistemas de altura o no inundables; sin embargo, varias de ellas son sólo accesibles a través de los ríos Pichis y Pachitea, por lo que la comunicación es más frecuente cuando estos ríos incrementan su cauce. El total de muestras de germoplasma que se obtuvo al visitar 35 comunidades fue de 123 de maíz, 26 de maní o cacahuete, 58 de frijol, 81 de ají o chile, 137 de yuca y 37 de algodón.

De los datos obtenidos de las 110 entrevistas y los datos pasaporte de cada muestra, se describió el reconocimiento de la diversidad por parte de los agricultores. El primer indicio de reconocimiento de la diversidad fue la clasificación local, la cual se denotó por la asignación de nombres específicos a una forma, tipo o variante. Así, en el Cuadro 2, se presentan los nombres locales asignados a la diversidad más reconocida por los agricultores. Es importante señalar que no siempre las formas locales tenían asignado un nombre específico, por lo que en algunos casos simplemente les llamaban: maíz, frijol, yuca, algodón, ají (chile) o cualquier sinónimo homólogo en lengua Shipibo o Ashaninka.

**Cuadro 2.** Clasificación de la diversidad con base en la denominación de variedades locales y su frecuencia del total de agricultores que las reconocen en 35 comunidades de la Amazonía Central de Perú.

Cultivos	Género y especies	Nombre local asignado a las variedades cultivadas y frecuencia de las más comunes
Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Amarilla (9.28%), Tres Mesina (7.2%), Seis Mesina (6.7%), Blanca y Blanca Ramosa (6.3%), Palo Blanco (5.0%), Tres Mesino blanco (3.8%), Amarilla 3 (3.4%), Señorita y Amarilla añera (2.9%), Arponcito y Amarilla tallo marrón (2.5%), Blanca de 4 meses, Paloma Rumo y Amarilla 3 meses (2.1%), Amarilla 1 año y Amarilla Planta Alta (1.7%), Ricasha, Amarilla Bajita, Blanca ramosa y Tijerita (1.3%), Amarilla 8 meses, Palo morado, Mana rumo, Huanana, Amarilla sin ramas, Añera, Kaniri Amarilla, Amarilla huevo (0.85%), Enano, Umisha rumo, Señorita rumo, Arpón Rumo, Zorro, Pangacha, Colorado, Lovera, Kaniri Blanca, Uyikániri de 1 año, Kaniri mamoniyani, Kaboyaniri, Spirayaniri, Puchari Caniri, Huangana, Yuca Cameron, Yuca Pijuayo, Arponcillo Rojo, Yuca Walo, Shirinshiyani (0.42%).
Maíz	<i>Zea mays</i> L. (raza Piricinco <sup>a</sup> )	Suave <sup>a</sup> (21%), Duro (19.7%), Serrano (13%), Híbrido (5.2%), Amarillo cancha (4.4%), Shequi-matash (4%), Cancha blanco (3.6%), Estaquilla (2.8%), Mejorado (2.4%), Amarilla (2.2%), Shinki-sonkoki y Amarillo brillante (1.6%), Serrano-duro, Shinki-eshpetaki y Tantaki (1.2%), Piedra y Pozuso (0.81%), Duro coloradito, Maicillo, CIPA, Estaquilla, Blanco, Marginal 28, Híbrido-duro, Shinki y Mardonio (0.4%).
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Poroto (82.3%), Vacapaleta (9.4%), Ashpaporoto (4.7%), Mantequilla, Pintado y Frijol Chuncho (1.2%)
	<i>Phaseolus lunatus</i> L.	Charimentaki-pallar –grupo <i>Big Lima</i> <sup>b</sup> – (1.2%)
Maní	<i>Arachis hypogaea</i> L. subsp <i>fastigiata</i> <sup>c</sup>	Rojo (29.5%), Bolisho (14.1%), Angelito (11.5%), Pintado (6.4%), Morado y Copallen (5.1%), Colorado, Inki y Blanco (3.85%), Liso, Inki1 y Colorado 2 (2.6%), Suave, Carachosa, Inki kichoncari, Negro Larguito y Copsa (1.3%).
Ají	<i>Capsicum annum</i> L.	Dulce (38.5%), Pucunucho y Pinchito de Mono (7.6%), Savirucana (5.8%), Tziricana (3.8%), Ayuyo, Malaguete, Amarillo Picante, Tziricana Puchari, Picante y Picante Largo (1.9%).
	<i>Capsicum chinense</i> Jacq.	Charapita (25%).
Algodón	<i>Gossypium barbadense</i> L. y <i>G. hirsutum</i> L.	Ampe blanco (37.2%), Arriñonado (25.6%), Pardo (21%), Ampe (11.6%) y Ceilán (4.65%).

<sup>a</sup> Raza de maíz Piricinco de acuerdo con las comparaciones de las fotografías de las accesiones del banco de germoplasma de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

<sup>b</sup> Frijol originario de la región costera de Perú y clasificado dentro del tipo *Big Lima*.

<sup>c</sup> Clasificación con base en ciclo corto, flores en el eje central, frutos de 3-5 semillas y en los primeros nudos de las ramas erectas.

A pesar de las frecuentes situaciones de emergencia provocadas por el crecimiento de los cauces de los ríos, en las comunidades de la Amazonía Central peruana se conserva una gran diversidad agrícola y, no obstante la movilización continua de las comunidades en los nombres, se lleva implícito el origen del material:

- 1) si es de reciente introducción (últimos 5-10 años), tiene un nombre castellano, o
  - 2) si ha sido heredado desde sus ancestros y es muy común, tiene un nombre en lengua local.
- En total, 76 variedades locales fueron diferenciadas mediante un nombre o descripción de una morfología específica.

La más abundante fue la yuca (36) en términos de la denominación de los agricultores. Eso tiene cierto fundamento debido a que la región de estudio se encuentra comprendida cerca o dentro de los probables centros de origen del cultivo. Refiriéndose a *Manihot esculenta*, Boster (1984a, 1984b) también encontró -en sus trabajos con los Aguarunas y Huambisas- una amplia variedad de yuca en el norte del Amazonas peruano, quienes diferenciaron hasta 100 variedades morfológicas, 61 de ellas con nombre propio. Todo esto sugiere una alta variabilidad genética inexplorada de yuca preservada *in situ* por los grupos étnicos quienes aún habitan el Amazonas peruano. Las formas de consumo y productos que se obtienen de la yuca son muy variadas: masato (bebida), fariña (harina), sancochada (cocida), frita, hervida, y otras más; y son un factor que promueve su preservación (Bergman, 1980; Hiraoka, 1986).

El segundo cultivo más diverso fue el maíz, a pesar de que en la región no se encuentran los mayores niveles de producción, pero puede considerarse uno de los cultivos potenciales de la región por haber gran demanda en el mercado, y ahora como nicho importante, para preservar las variedades locales de la región de transición entre selva y sierra (Grobman *et al.*, 1961).

De las muestras colectadas en maíz (*Zea mays* L.), el 56% corresponde a granos duros ("Serrano", "Piedra", "Duro", "Amarillo brillante", "Mejorado", "Híbrido", "CIPA" y otros), los que por sus características fenotípicas fueron agrupados dentro de la raza Cubano Amarillo. De manera similar, un 29.3% de las muestras fue agrupado en la raza Piricinco ("Suave", "Amarillo Suave", "Polvosara", "Panshin-shequi" y otros) donde la particularidad de estos materiales fue que poseen granos harinosos de gran importancia para la cocina tradicional por sus múltiples usos. El 14.7% restante pertenece a los maíces "Cancha"; por ejemplo, la población de los "Cancha Amarilla" que se presume pertenece a la raza Canilla y los "Cancha Blanco" pueden agruparse en la raza Pipoca (Sevilla, R. 2003, Com. Pers.). Además, existieron poblaciones fenotípicamente intermedias entre las razas Cubano Amarillo y Piricinco, o bien, entre Cubano Amarillo y Canilla. La variedad de nombres es sólo una percepción parcial de la variabilidad encontrada en campo; es decir, que varios agricultores mencionaron un solo nombre para diferentes variantes del material y, en forma contraria, varios nombres referidos fenotípicamente a un solo material. Una muestra de la variabilidad de variedades locales de maíz se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** Diversidad de variedades locales de maíz en comunidades de la Amazonía Central de Perú. En ambas fotos, las cuatro mazorcas del centro son las llamadas Suaves (raza Piricinco), exclusivas de la selva y, en los extremos, Duros, Serranos o Piedra.

El maíz desempeña funciones particulares como las siguientes:

- 1) Es un producto de transformación directa en capital por la venta.
- 2) En otros casos, se transforma en proteína a través de la alimentación de las aves y ganado menor. Entre las parcelas de cultivo y al interior de éstas, se observó una alta variabilidad de formas y colores de grano y mazorcas, quizá porque en algunos casos las poblaciones cultivadas se recombinan fácilmente por el flujo de polen entre parcelas vecinas y, en otros, se vuelven homogéneas como producto del aislamiento geográfico natural de las parcelas. Entonces, una variedad nativa o introducida puede tomar uno de estos caminos o ambos cambiando su constitución genética inicial.

El frijol Charimentaki (*Phaseolus lunatus*) presentó gran variabilidad en color y tamaño de semilla y, de acuerdo con las descripciones de las variantes hechas por Debouck (1994), indican que corresponden al grupo “*Big Lima*” y probablemente fueron una introducción a las regiones Ashaninkas desde las costas de Perú donde se encuentra su origen. En el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se presentó mayor variación fenotípica entre variedades que dentro de ellas; mayor frecuencia para el “Ucayalino”, conocido también como “Poroto”, “Regional”, “Amarillo” o simplemente frijol “Chucho”, “Vacapaleta”, “Pintado”, “Ashpaporoto” y “Mantequilla”; cada uno de estos materiales posee cualidades distintivas entre ellas.

En las colecciones de maní (cacahuate), fueron identificadas dos subespecies: *Arachis hypogaea* L. subsp. *hypogaea* como el llamado “Brasileño”, y *Arachis hypogaea* L. subsp. *fastigiata* agrupando a los tipos “Angelito”, “Bolisho”, “Rojo”, “Copallen”, “Morado”.

Otro género interesante fue el *Capsicum*, con mayor variabilidad en morfología de frutos que en los nombres de las variedades locales. La variación de ají (chile) y su clasificación son tema de debate en el ámbito científico debido a su amplia diversidad mundial. A las especies de flores blancas se les ha considerado dentro del grupo *C. annum-chinense-frutescens*, y entre otros autores, Eshbaugh (1993) indica que el Amazonas es el origen de *Capsicum chinense* Jacq. En la región explorada, son pocos los antecedentes documentales de la especie y los especímenes encontrados fueron clasificados dentro de *C. annum* y *C. chinense*, esta última clasificación basada en la coloración morada-azul de las anteras. El ají o chile tiene su lugar especial en la cultura culinaria amazónica y su ambiente preferencial de conservación son los huertos caseros. En ají, el 42% de las muestras pertenece al grupo de los dulces y el 58% agrupa a los picantes. Existe alta variación morfológica y las variantes más importantes son “Charapita”, “Pucunucho”, “Pinchito de Mono”, “Nenque-yuchi”, “Ayuyo” y ajíes dulces con alta variabilidad morfológica.

Para el caso del algodón, los antecedentes señalan que tiene más de 20 años de cultivarse en la región (Bergman, 1980). Sin embargo, las poblaciones cultivadas por los nativos son pequeñas, desde unas cuantas plantas en los huertos caseros hasta pequeñas plantaciones. Estas últimas han sido introducciones de variedades de la costa peruana. La descripción morfológica verificada en las parcelas de los productores indicó que corresponde en su mayoría a *Gossypium hirsutum* y escasas plantas aisladas de *G. barbadense*.

Respecto al efecto de los factores socio-culturales en la diversidad conservada, se puede decir que puede haber cierta influencia, aunque no es separable de la región ecogeográfica porque cada grupo socio-cultural ocupa regiones diferentes. En el análisis preliminar de la diversidad de 13 comunidades, se encontró mediante el índice de riqueza varietal (S) que tiende a haber mayor número de variedades reconocidas en el grupo Ashaninka que en los Shipibo-Conibo; no obstante, con el índice de Shannon-Weaver (H), aparentemente son semejantes (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Número de variedades designadas con diferente nombre dentro de cada grupo étnico, riqueza de variedades locales (S) e índice de Shannon-Weaver (H). Análisis preliminar de los datos de 13 comunidades.

Etnia (núm. de variedades locales)	Número de Comunidades	Número de variedades con nominación diferente						Índices de diversidad	
		Yuca	Maíz	Frijol	Maní	Aji	Algodón	S	H
Shipibo-Conibo (48)	8	16	13	3	2	9	5	0.61	13.3
Cashibo-Cacataibo (20)	1	9	5	1	0	3	2	0.25	10.4
Ashaninka (64)	4	27	15	4	4	8	6	0.81	13.3

Del análisis preliminar de los datos de 13 comunidades por medio de la regresión lineal múltiple, por el método de los mínimos cuadrados ordinarios, se dedujo que el grupo Ashaninka conserva una gran parte de la diversidad de variedades locales que se preservan en el Amazonas Central peruano. También, preliminarmente se puede pensar que el mercado también influye en el número total de variedades locales preservadas. En particular, las comunidades Ashaninkas se encuentran más alejadas de los mercados. Con esto, se postula que la ubicación geográfica de la comunidad fue un factor que influyó en su acceso al mercado y por ende en la diversidad preservada (Collado, 2002). Las comunidades Shipibo-Conibo y mestiza más cercanas al mercado de Pucallpa presentaron la menor diversidad. El caso contrario se observó en las comunidades Ashaninka, más alejadas del mercado de La Merced, y probablemente los valores socio-culturales y agronómicos tendrán mayor peso que el precio de mercado (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Influencia del grupo étnico, el acceso al mercado y el nivel económico de las familias en el número de variedades locales en las comunidades. Análisis preliminar de regresión lineal múltiple con los datos de 13 comunidades.

Variables	Coefficiente	Error estándar	Valor t	Significancia <sup>a</sup>
<i>Variable dependiente: número total de variedades locales reconocidas</i>				
Interoeplo	2.62	1.41	1.86	
Etnia Shipibo-Conibo	-1.17	1.04	-1.03	
Etnia Ashaninka	1.90	1.05	1.81	**
Acceso al mercado <sup>b</sup>	0.46	0.22	2.04	***
Nivel económico de la familia	0.43	0.59	0.75	

<sup>a</sup> \*\*Significativo al 0.1, \*\*\*Significativo al 0.01

<sup>b</sup> Costo del traslado de un saco de 50 kg de la comunidad al mercado más cercano

## Conclusiones

De acuerdo con los datos generados y analizados hasta el momento de presentar este avance de resultados, se tienen las siguientes conclusiones:

Existe una gran variabilidad reconocida por los agricultores a través de nombres locales o simplemente de carácter morfológico, pero perfectamente diferenciada aunque no con un nombre. Fue mayor la diversidad reconocida de variedades locales en yuca que en los otros cultivos, y también fue el cultivo de mayor número de lotes sembrados que se reflejó en mayor número de muestras colectas para un estudio posterior. En orden de diversidad, le siguen el maíz, ají (chile), maní (cacahuate) y, por último, frijol y algodón.

En los análisis estadísticos preliminares, se determinó que la diversidad que se preserva en la región comprendida entre los Valles de Alto Ucayali, Aguaytía y Pichis-Pachitea está determinada por el grupo socio-cultural que la maneja y por la dificultad de acceso al mercado. Las comunidades Ashaninka son las más alejadas del mercado y son las que presentaron mayor diversidad de variedades locales.

### **Referencias**

- Bergman, R. 1980. Amazon Economics; The Simplicity of Shipibo Indian Wealth. Department of Geography, Syracuse University.
- Boster, J. S. 1984a. Inferring decision making from preferences and behavior: An analysis of Aguaruna Jivaro Manioc selection. *Human Ecology* 12: 343-358.
- Boster, J.S. 1984b. Classification, cultivation, and selection of Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae). *Adv. Econ. Bot.* 1: 34-47.
- Cecchi, S:K. 1999. Genetic diversity dynamics in traditional agricultural systems of Peruvian Amazon. MSc. Thesis. Department of Land Use and Planning, Appalachian State University. Boone, North Carolina, USA.
- Collado, L. 2002. Diversidad cultivada y socio-cultural en la Amazonía Central de Perú. Tesis MSc. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Debouck, D. 1994. Beans (*Phaseolus* spp.). In: Hernando Bermejo JE and Leon J, editors. Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective. *Plant Production and Protection Series No. 26*. FAO, Rome, Italy, pp. 47-62.
- Eshbaugh W. H. 1993. Peppers: history and exploitation of a Serendipitous new crop discovery. In: Janick J and Simon JE, editors. National Symposium New Crops: Exploration, Research, and Commercialization. Wiley, New York, USA, pp. 132-139.
- Grobman, A., W. Salhuan and R. Sevilla in collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1961. Races of maize in Perú. *Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Council. Publication No. 915*. Washington, D.C. USA.
- Hiraoka, M. 1986. Zonation of mestizo riverine farming systems in northeast Perú. *Nat. Geogr. Res.* 2: 354-391.



## **Colecta y clasificación para programar la conservación *in situ* de la diversidad de maíz en la Amazonía peruana**

**Ricardo Sevilla Panizo**

*Coordinador Ejecutivo de la Secretaría Técnica de Coordinación con el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (STC-GCIAI) en Perú. Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Casilla 2791, Lima, Perú (Email: stc\_cgjar@inia.gob.pe).*

### **Introducción**

La diversidad del maíz en Perú se ha clasificado en razas. Las razas se diferencian por su morfología, fenología y adaptación. A diferencia de los ecotipos -término usado para especies silvestres-, las razas evolucionan en el contexto de las culturas. No existe maíz silvestre. La selección artificial juega un papel muy importante en la adaptación de las razas a los ecosistemas y sistemas de producción, y en la especialización para los múltiples usos culturales. Las razas de maíz son componentes importantes de las culturas, como lo son: el idioma, la música, las costumbres, el vestido, la preparación de alimentos y otras manifestaciones culturales.

En América, se encuentra más del 90% de todas las razas conocidas de maíz. Se han descrito en el continente 260 razas (Goodman y Brown, 1988). Las razas de maíz fueron descritas después de haber colectado toda la diversidad de cada uno de los países de Latinoamérica y el Caribe en un proceso que duró aproximadamente 20 años, en las décadas del 40 al 60 del siglo XX. Tanto la colecta como la caracterización y la clasificación racial se hicieron con métodos previamente consensuados, de manera que la diversidad de los países se puede comparar por el número de razas que tienen. Así, por ejemplo, en Perú se clasificaron 49 razas (Grobman *et al.*, 1961) y en Cuba, 7 (Hatheway, 1957).

La clasificación racial es cerrada, en el sentido que toda la diversidad de la especie se clasifica en razas. La clasificación se hace por aproximaciones sucesivas. Por ejemplo, el primer país que clasificó sus razas de maíz fue México. En la primera aproximación que se publicó en 1951 (Wellhausen *et al.*, 1951), se describieron 34 razas, de las cuales dos eran sub-razas y siete fueron clasificadas como no bien definidas. Posteriormente, Hernández y Alanís (1970) describieron cinco razas más. Durante el proyecto LAMP (*Latin American Maize Project*), se clasificaron 40 razas de México en el proceso de evaluación del germoplasma de maíz de ese país (Salhuana *et al.*, 1997).

En Perú, se clasificaron originalmente 49 razas (Grobman *et al.*, 1961). Posteriormente, se colectó la sierra de Piura que había sido una de las pocas regiones no colectadas. Se describieron en esa región cuatro razas, las cuales Vega (1972) agrupó en sólo dos, aplicando métodos de taxonomía numérica. Cinco de las razas clasificadas en la primera aproximación de Grobman *et al.* (1961) no son verdaderas razas, de manera que el número actual es de 46.

Las regiones de la costa y selva de Perú se volvieron a recolectar en los primeros años de la década del 80. Se encontraron todas las razas colectadas en la década del 50, excepto la raza Enano, que en esa época se colectó en muy poca frecuencia (una entrada o acesión) en el departamento de Madre de Dios. El año pasado, Sergio Quevedo (comunicación personal, 2002) colectó dos muestras de esa raza en el mismo departamento. El hecho de encontrar todas las razas costeñas después de 20 años de la siembra de híbridos en casi el 100% del área de maíz de esa región, demostró que las razas son mantenidas por los agricultores cuando tienen algún valor, no necesariamente económico.

### ***La biología reproductiva del maíz***

El maíz es una planta monoica: las flores masculinas están en una inflorescencia llamada panoja, y las femeninas se desarrollan en una estructura especial denominada mazorca. Las flores del maíz, tanto masculinas como femeninas, se encuentran unidas en espiguillas; el par de espiguillas es la unidad floral.

En la panoja o espiga (inflorescencia masculina), un miembro del par de espiguillas es pedicelado. Cada espiguilla contiene dos flores con tres estambres, dos lodículos que se hinchan en época de floración, empujan la lemma -una de las envolturas de la flor- y permiten la salida de los estambres. En la espiguilla estaminada, ambas flores son funcionales.

La espiguilla pistilada tiene los mismos elementos que la estaminada, pero la gluma, lemma y palea son más rudimentarias. La espiguilla está formada por dos flores, de las cuales sólo la superior es funcional, con un estilo que sobresale de las brácteas de la mazorca formando en conjunto los pelos de la mazorca. La inflorescencia femenina consiste de un eje denominado tusa o coronta (raquis de la mazorca), sobre la cual las espiguillas son ordenadas por pares. Como cada espiguilla da lugar a un grano y las espiguillas se originan por pares, el número de hileras de grano de la mazorca es par. Cada espiguilla está unida al eje de la mazorca o tusa por un pedicelo muy corto denominado raquilla. El número de hileras de grano de la mazorca está determinado principalmente por factores hereditarios. El ambiente no modifica esta característica.

La rama lateral que sostiene la mazorca es el resultado de un acortamiento de una rama que tiene una estructura similar al tallo principal. Este pedúnculo de la mazorca tiene varios entrenudos que se han acortado en el proceso de la evolución. En cada nudo, nace una hoja que junto con las otras hojas que están muy apretadas entre sí constituyen las brácteas envolventes de la mazorca.

Las flores del maíz son potencialmente hermafroditas, es decir, aunque la espiga tiene flores funcionales masculinas y la mazorca flores femeninas, las flores masculinas contienen vestigios de órganos femeninos como un pistilo rudimentario, y en las flores femeninas existen tres estambres rudimentarios. Por esta razón, a veces ocurren flores perfectas en la espiga (presenta granos en la espiga), que dan lugar a la formación de granos en la panoja y también mazorcas con anteras (Kiesselbach, 1949).

### ***Gametogénesis y fertilización***

La gametogénesis precede a la fertilización y se realiza en el esporofito o planta adulta en dos partes diferentes. La gametogénesis masculina o microsporogénesis se desarrolla en los estambres, dando lugar a cuatro microsporas, cada una de las cuales encierra las dos células espermáticas en el grano de polen. La gametogénesis femenina o macrosporogénesis da lugar a cuatro megasporas, tres de esas megasporas no son funcionales y sólo una de ellas da lugar al saco embrionario, donde se encuentran el óvulo, tres células antípodas, dos sinérgidas, y dos núcleos polares que se fusionan en el momento de la fertilización.

Los granos de polen salen de las anteras en el momento de la anthesis y son transportados principalmente por el viento a los pistilos de las plantas vecinas. Se produce mucho más polen que el necesario para fertilizar todas las flores femeninas, aún en las variedades que tienen espigas muy pequeñas y con pocas flores. El viento transporta el polen a relativamente grandes distancias, pudiéndose considerar que para mantener un campo aislado de otro, debe estar separado por lo menos 200 metros, dependiendo de la dirección y la fuerza del viento que puede determinar una separación a veces de más de 500 metros.

En general, la floración masculina antecede en varios días a la femenina -protandria- lo cual es un factor importante en la fecundación cruzada. Es mucho menos frecuente la protoginia, es decir, primero maduran las flores femeninas y después las masculinas.

El polen es funcional durante las 24 horas que siguen a la salida de las anteras. Cuando cae sobre los estilos o los pelos estigmáticos, el tubo polínico puede penetrar por el cuerpo del estilo por uno de los pelos estigmáticos, y una vez dentro del estilo, pasa por el tejido vascular hasta el ovario. El tiempo entre polinización y fertilización varía mucho porque la distancia entre el grano de polen y el óvulo varía de acuerdo con el sitio en el que cae o penetra al tubo polínico. Para tener una idea de la velocidad de la fertilización, se puede considerar que bajo condiciones normales de temperatura y humedad relativa el tubo polínico puede entrar al pelo estigmático dos horas después de la polinización y la fertilización puede ocurrir 24 horas después.

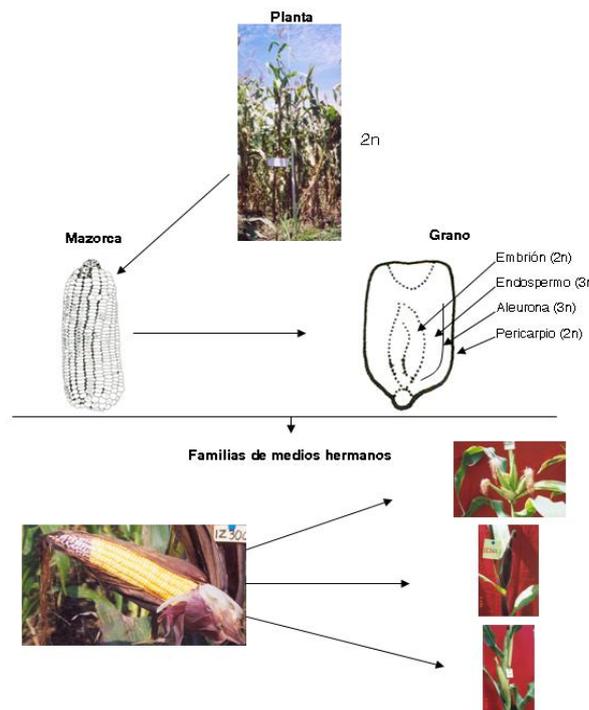
La doble fertilización ocurre cuando uno de los núcleos espermáticos del grano de polen se une con el óvulo para formar el embrión, y cuando el otro núcleo espermático se une con los núcleos polares previamente fusionados para formar el endospermo.

### **Formación del grano**

La unión de los gametos da lugar al cigote, con el cual se inicia la fase esporofítica de la planta de maíz. El cigote se divide por primera vez más o menos doce horas después de la fertilización. Diez días después de la fertilización, ya se pueden apreciar las partes del embrión: radícula, coleótilo y escutelo.

Las hojas embrionarias se desarrollan después hasta completar cinco hojas que en la mayoría de las variedades ya están presentes a los 40 días después de la polinización. Cuando el grano está maduro, contiene cuatro raíces: la radícula -o eje principal- y tres raíces seminales.

El endospermo de la semilla es formado por la unión del otro núcleo espermático del grano de polen con los núcleos polares fusionados. Como cada uno de los núcleos polares tiene el número gamético de cromosomas, el tejido resultante de la unión es triploide, a diferencia del tejido diploide del embrión. El endospermo es parte del esporofito; aunque está en la misma semilla donde está el embrión, puede mostrar las consecuencias de la segregación génica, mientras que el embrión da lugar a la planta, y en ella se observan las variaciones hereditarias. Para entender la herencia de las características del grano, es necesario conocer la alternancia de generaciones en maíz (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema descriptivo general de la alternancia de generaciones en maíz

**Alternancia de generaciones.** La planta de maíz es un esporofito con  $2n=20$  cromosomas en todas sus células. De esos 20 cromosomas, 10 provienen del padre y 10 de la madre. Durante la fase gametofítica, se forman los gametos: el masculino en la panoja y el femenino en la mazorca.

Los gametos tienen 10 cromosomas. La unión de un núcleo espermático del grano de polen con la oosfera da lugar al embrión, que tiene 20 cromosomas y del cual se desarrollará la planta adulta. La unión del otro núcleo espermático del polen con el núcleo producto de la fusión de los dos núcleos polares que tiene 20 cromosomas da lugar al endosperma del grano de maíz que tiene 30 cromosomas. El conocimiento de este mecanismo es fundamental para entender la herencia de los caracteres del grano de maíz.

En la misma mazorca, hay caracteres del grano que no segregan (herencia materna), y caracteres del grano que sí segregan. Los caracteres del que no segregan son los del pericarpio. En una mazorca, si el color del grano se debe al pericarpio, todos los granos son del mismo color. Se dice que es herencia materna porque antes de que ocurra la fertilización, el color del pericarpio ya está definido por el genotipo de la planta madre.

### **Herencia de los principales caracteres del grano**

#### **Herencia del color del grano**

La herencia del color del grano se complica porque el color se expresa en tres partes distintas del grano: pericarpio, aleurona y endospermo. Si el pericarpio es coloreado, no se visualiza el color de la aleurona ni del endospermo; es decir, no se observa efecto del polen en el color del grano. No hay segregación del color dentro de una misma mazorca. Si el pericarpio es incoloro, se expresa el color de la aleurona. Si la aleurona es coloreada, independientemente del color del pericarpio, no se expresa el color del endospermo. El polen que fertiliza al grano aporta uno de los tres alelos; si es dominante, se expresa en el grano (*xenia*). Si el pericarpio y aleurona son incoloros, se expresa el color del endospermo. Cuando hay efecto del polen que fertilizó el grano, se dice que hay *xenia*. El color de grano puede segregarse dentro de una misma mazorca.

**Color del pericarpio.** El pericarpio puede ser incoloro, rojo, amarillo, café claro, café, rojo capa blanca, café rojizo, rojo oscuro y negro. Además, puede ser variegado si tiene líneas longitudinales de color rojo o café sobre el pericarpio incoloro, o puede ser mosaico si tiene zonas o sectores del grano de distinto color. El gen responsable del color del pericarpio es el gen **P**, localizado en el cromosoma 1 (Neuffer *et al.*, 1968). Este gen tiene una serie de alelos que se detallan a continuación:

P-ww, pericarpio incoloro – eje de la mazorca o raquis blanco de la mazorca

P-rr, pericarpio rojo – raquis rosa

P-rw, pericarpio rojo – raquis blanco

P-wr, pericarpio incoloro – raquis roja

P-cr, pericarpio rojo capa blanca – raquis roja

P-cw, pericarpio rojo capa blanca – raquis blanco (Figura 2. a)

P-vv, pericarpio variegado (Figura 2. b)

P-ww es recesivo a todos los demás alelos de coloración. Para que se expresen los alelos del color rojo, debe estar presente también el alelo A del cromosoma 3; para que produzca color café, debe estar presente el alelo  $A^b$  (Figura 2. c); y para el color marrón rojizo, debe estar el alelo  $a^p$ , además del alelo característico de P. Por ejemplo, el color rojo variegado está dado por AP-vv, el café variegado:  $A^b$  P-vv, y el café rojizo variegado  $a^p$ P-vv.

Para que el pericarpio sea negro, debe estar presente además de A y P-rr, el dominante PI del cromosoma 6 y el recesivo  $r^{ch}$  del cromosoma 10. O sea que, el maíz negro como el 'Kcully' peruano es A P-rr PI  $r^{ch}$ . En muchos casos, se nota que el grano es más claro y la tusa es roja; eso es debido a la presencia del alelo pi en lugar de PI.

Los alelos  $A^b$  y  $a^p$  son dominantes a A, de manera que si se cruza café con rojo, la descendencia es de color café. Hay, además, dos genes que producen pericarpio café: el gen dominante Ch en el cromosoma 2 y el gen recesivo  $b_p$  en el cromosoma 9. Cuando están presentes juntos Ch y P-rr, el pericarpio es rojo, pero es café si está junto Ch con P-vv y P-mo.

*Color de aleurona.* Se conocen más de 12 genes que afectan el color de la aleurona. Para que se desarrolle el pigmento, deben estar presentes los siguientes genes dominantes: A, A-2, A-3, C, C-2 y R, así como el par de alelos recesivos i (el dominante I inhibe el color). Basta que falte uno de los dominantes, para que la aleurona sea incolora.

El color específico en los genotipos A, A-2, A-3, C, C-2 y R, es generado por la siguiente combinación de genes: Pr produce aleurona morada y es dominante sobre pr que produce aleurona roja (Figura 2. d). La aleurona púrpura Bz domina al color pardo pálido verdoso (bronce) producido por bz. Otro gen localizado en otro cromosoma bz-2 produce el mismo efecto.

El moteado típico de algunas razas es causado por los genes Dt-1 del cromosoma 9, Dt-2 del cromosoma 6 y Dt-3 del cromosoma 7. El moteado también es producido por la presencia de un alelo R y 2r, o sea, el genotipo Rrr en la aleurona (Figura 2).

El gen R tiene una serie de alelos. R produce aleurona morada;  $R^{nj}$  produce manchas irregulares moradas en la corona del grano incoloro;  $R^{mb}$  produce manchas claras en granos morados;  $R^{st}$  produce manchas pequeñas púrpuras en granos incoloros.

Además, el gen Bh produce un fenotipo parecido a  $R^{st}$ , o sea, manchas pequeñas irregulares de color púrpura en granos incoloros. Adicionalmente, el gen dominante Br en el cromosoma 7 produce aleurona café amarilloso pálido.

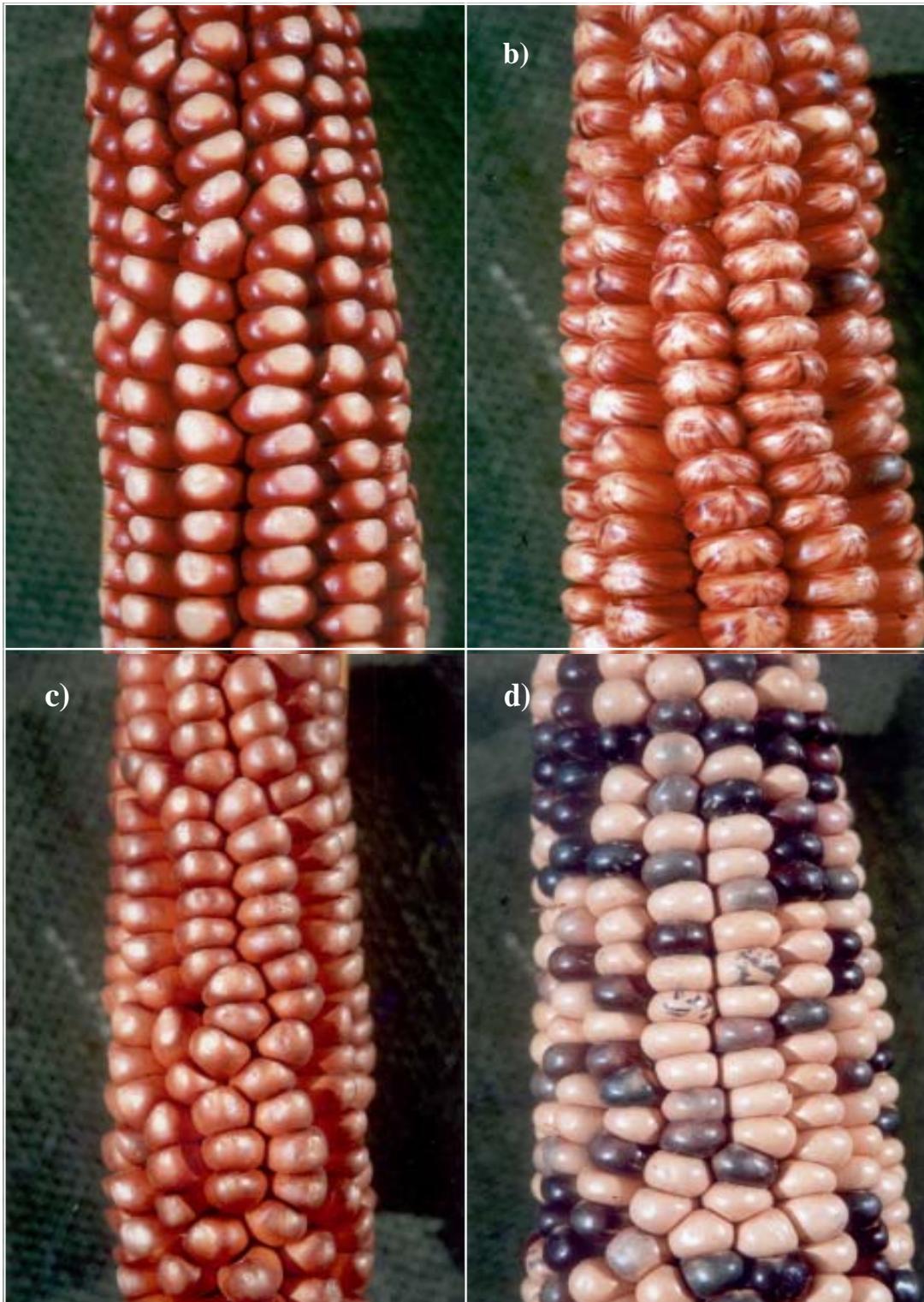
El color de la aleurona segrega dentro de la mazorca; es decir, que dentro de una mazorca se pueden encontrar granos púrpuras, rojos y moteados. Como la aleurona es 3n, hay 3 alelos para cada gen en el tejido de la aleurona. Entonces, basta la presencia de uno de los dominantes para que se exprese en la mazorca el alelo aportado por el padre (efecto *xenia*). No siempre se expresa el alelo aportado por el polen. En caso de que haya diferencia en el genotipo AAa vs Aaa, se dice que hay efecto de dosis o interacción no epistática, o sea, dos dosis de A tienen un fenotipo diferente que una sola dosis de A.

*Color del endospermo.* Hay mucha menos variación en el color del endospermo que en el color del pericarpio y aleurona. El endospermo puede ser amarillo o blanco. El endospermo amarillo es producido por un gen dominante Y en el cromosoma 6. El gen Y se expresa sólo en granos duros o en los sectores de endosperma duro. Por lo tanto, la expresión del gen Y en genotipos con 1, 2 y 3 alelos de Y se presenta a continuación: **yyy** es blanco; **Yyy** es amarillo; **YYy** es amarillo; **YYY** es amarillo. En el endospermo harinoso, no se expresa el gen Y.

En maíces de grano duro, si se cruza una planta de endospermo amarillo con una de endospermo blanco, el grano en la planta madre se convierte en amarillo. La autofecundación de la planta proveniente de esos granos produce una segregación medeliana en proporción de 3 amarillos y 1 blanco en la misma mazorca (generación  $F_2$ ). Sin embargo, hay algunas referencias que dicen que hay efecto de dosis, o sea, que el fenotipo del grano de la planta madre depende del genotipo de la planta madre.

Hay varios genes denominados lw que reducen el color amarillo en el endospermo, dando una apariencia de color limón blanquecino. Estos son recesivos y se muestran comúnmente segregando en una mazorca 3 amarillo normales y 1 limón blanquecino.

**Wc** en el locus 104 del cromosoma 9 produce capa blanca en endospermo amarillo. Hay un gen dominante **I** que causa la inhibición parcial de endospermo amarillo y produce amarillo pálido.



**Figura 2.** Coloraciones de grano: a) el fenotipo rojo capa blanca, homocigotes P-cr/P-cr; b) pericarpio variegado Rvv; c) color café por la presencia del alelo  $A^b$  en el cromosoma 3, además del alelo específico P, en el cromosoma 1; d) genes de color de aleurona Pr (morado), Pr (rojo) segregan en una mazorca.

### Herencia de la textura del grano

El endospermo está formado por gránulos de almidón. La textura del grano depende de la densidad de los gránulos. Así, en el maíz duro y en el maíz reventón, el almidón está densamente compactado, sobre todo en la región superior del grano. En los maíces dentados, la zona de mayor densidad está alrededor del embrión, siendo menos densas las partes externas. En los maíces harinosos, la densidad de los gránulos de almidón es mucho menor.

La diferencia entre duro y harinoso en los maíces de la zona Andina es debida a la presencia del gen *fl* que tiene efecto de dosis, o sea que: *Fl/fl/fl* es harinoso y *Fl/Fl/fl* es duro. En los maíces duros de la zona Andina ('Morochos'), el almidón duro no ocupa todo el endospermo sino sólo una capa superior muy delgada del grano. No se sabe si este fenotipo es causado por un alelo de *fl-1* o si es debido a la acción de genes modificadores que disminuyen la expresión de *Fl-1*. En todo caso, si se cruza 'Morocho' x 'Harinoso', el comportamiento de la descendencia es como se ha mostrado anteriormente; lo que prueba parcialmente que 'Morocho' tiene el mismo gen que 'Duro' y que la expresión menor es debida a los modificadores. Otra evidencia de que son modificadores es que cuando se cruza 'Morocho' x 'Duro', es difícil clasificar la descendencia debido a que la herencia de la extensión de endosperma duro es cuantitativa.

Otros genes que cambian la textura del endospermo son *su-1* localizado en el cromosoma 4 y *su-2* en el cromosoma 6. Ambos son recesivos y en los dos casos el alelo harinoso normal *Su*, si es aportado por el polen, modifica el endosperma de plantas de genotipo *su su*. Se denomina dulce a "*su*" porque no permite la transformación de azúcar en almidón, lo que le da un sabor dulce al grano.

Si se cruza harinoso x dulce, la mazorca híbrida presentará siempre granos harinosos y la  $F_2$  de ese cruce produciría una proporción de 3 harinosos: 1 dulce. Los granos dulces deben producir plantas con mazorcas con todos los granos dulces. Si aparecen granos harinosos, es porque han recibido polen extraño.

### La diversidad del maíz en la Amazonía

Las razas de la selva de Perú descritas por Grobman *et al.* (1961) son: Enano, Piricinco, Chimlos, Alemán, Chuncho, Cuban Yellow y Perilla. Las razas Chimlos, Chuncho y Perilla se encuentran en la ceja de la Selva, es decir, en selva alta, aproximadamente a 1000 msnm. Alemán es una introducción reciente, probablemente relacionada a la raza mexicana Tuxpeño, que se ha encontrado sólo en las colonizaciones de la selva central. En la selva de Ucayali, se esperaría confirmar la presencia de dos razas: Piricinco y Cubano Amarillo (*Cuban Yellow*). En la Figura 3, se presentan cuatro colecciones hechas en el departamento de Ucayali en el siglo XX, en las décadas de los años 50 -cuando Ucayali formaba parte del departamento de Loreto- y los 80, respectivamente: dos colecciones de la raza Piricinco (a y b en la Fig. 3) y dos de Cubano Amarillo (c y d en Fig. 3).

*La raza Piricinco.* En la selva de Perú, Bolivia y Brasil se encuentra ampliamente distribuido un tipo de maíz de mazorcas muy largas y flexibles conocido en Perú con el nombre de Piricinco, en Bolivia como Coroico y en Brasil con varios nombres nativos, correspondiendo cada una de esas denominaciones a una raza diferente del grupo racial denominado "Maíz suave intercalado".

Según Brieger *et al.* (1958), esta raza se formó cuando en las primeras fases de domesticación se seleccionó para aumentar el número de hileras, resultando en el intercalamiento de los granos en las mazorcas, que es la característica más notoria de esta raza. Los mismos autores indican en su texto que la mazorca de esta raza es la más larga entre las razas peruanas, al medir en algunos casos más de 30 cm de longitud, a la vez una de las más angostas. Es el único caso entre las razas conocidas en que el número de hileras de granos puede ser impar, debido a la disposición de los granos que hace parecer dos hileras adyacentes como una sola. El pedúnculo de la mazorca es muy ancho y largo lo que permite que éstas sean decumbentes, situación muy



**Figura 3.** Fotos de muestras de las razas Piricincó (a y b) y Cubano Amarillo (c y d) colectadas durante 1950 y 1980.

ventajosa en las condiciones de fuertes lluvias que caracterizan los trópicos húmedos, su hábitat natural. Los granos de esta raza son muy característicos por el color del pericarpio y la aleurona que puede ser amarillo rojizo, bronce, naranja o morado. La aleurona está formada por varias capas de células, lo cual es raro en maíz, puesto que normalmente la aleurona tiene una sola capa de células. Esto ha hecho que se considere esta raza como una buena fuente genética para mejorar la calidad de proteína en el grano desde que se demostró que la proteína de la aleurona es de mejor calidad que la del endospermo. El grano ha mostrado también tener un elevado contenido de amilosa.

La planta es mucho menos vigorosa de lo que se podría esperar considerando la extrema longitud de la mazorca; los tallos son delgados, la planta es relativamente de porte bajo y el área foliar es una de las más reducidas entre las razas peruanas (Sevilla, 1975).

*Cubano Amarillo.* Esta raza está ampliamente distribuida en todas las islas occidentales y en la costa nororiental de Sudamérica, sobre todo en Venezuela. En Cuba, recibe el nombre de maíz 'Criollo', pero es conocido en otros sitios fuera de Cuba como *Caribbean Flint* o *Cuban Yellow Flint*. En el sureste de los Estados Unidos, se le conocía con el nombre de *Creole Flint* antes del uso de los híbridos. También, se encuentra en Brasil confundándose con los catetos locales. Las poblaciones más típicas de esta raza se encuentran en las Antillas (Grant *et al.*, 1963).

La raza Cubano Amarillo es una raza introducida recientemente a Perú. Ha sido clasificada por Brown (1960) como Cristalino Costeño Tropical (*Coastal Tropical Flint*). Las plantas son altas con muchas hojas largas de ancho mediano. Es semi-precoz en los trópicos: no presentan macollos. La panoja o espiga es grande con muchas ramas. Las características más importantes de esta raza son el tamaño de mazorca grande cilíndrico, con 12 a 16 hileras regulares de granos de mediano tamaño, duros, con una capa delgada de almidón suave en la corona del grano; endospermo de color amarillo, pericarpio y aleurona incolora.

El hecho de haber sido uno de los primeros tipos de maíz introducido en Europa sugiere que ya existía en las islas occidentales en la época del descubrimiento de América. Según Hatheway (1957), esta raza tuvo su origen en Sudamérica y fue introducida en Cuba por la tribu Arawak que originalmente se asentó en las costas de Venezuela y se trasladó posteriormente a las islas occidentales llevando muchas plantas cultivadas.

Esta raza es una fuente muy importante de resistencia a los insectos de almacén, lo cual ha sido reconocido no sólo por los agricultores de Cuba y otros países del Caribe, sino también por los mejoradores que han podido observar el poco daño que causan los insectos al grano. La principal característica de esta raza es su amplia adaptabilidad; es usada *per se* o en combinaciones híbridas en muchos países tropicales, incluyendo los de Centro y Sudamérica, Indonesia, Filipinas, India y países del trópico africano. El Dr. E. Wellhausen (1978) la presentó en el Simposium Internacional de Maíz de 1975 en Illinois, Estados Unidos, como una de las cinco fuentes germoplásmicas más importantes en el mejoramiento de maíz en el trópico. Según el mismo autor, colecciones de esa raza han mostrado mucha heterosis con maíces dentados mexicanos y de Estados Unidos, heredando los híbridos la prolificidad típica de esta raza.

*La colección actual.* Una nueva colección de maíz se estableció en enero de 2003 como una de las actividades de la conservación *in situ* de las plantas cultivadas de la región Ucayali (ver Collado y colaboradores en esta publicación). Para enero de 2003, se habían colectado 61 muestras.

### **Estrategia y método de colecta del germoplasma de maíz**

Para coleccionar en una región, se debe primero hacer una prospección de la diversidad de la especie en la región. En la prospección, se recoge toda la información que puede ayudar a orientar a los colectores para que la colección sea representativa de la diversidad de la especie. Es muy importante que las muestras colectadas sean representativas de la diversidad, porque los resultados de la caracterización y de la clasificación racial de esas muestras serán la mejor referencia para estimar la diversidad en una región.

La manera de hacer una prospección es recorriendo las zonas cultivadas con maíz en la región. Puede complementarse el recorrido con entrevistas a agricultores del lugar, visita a los mercados, estudios de mapas y sistemas de información geográfica, estudios de la flora, estudios previos de clasificación y descripción de las variedades de maíz. En la prospección, hay que recabar información de poblados, puertos, aeropuertos, carreteras, caminos de herradura, comisarías, colegios y cualquier otra institución o persona que pueda orientar y apoyar la colección.

Es muy importante determinar con la mayor precisión posible la fecha de cosecha, el tamaño de los predios, el destino de la producción y el tiempo en el cual el maíz se guarda en los almacenes sin desgranar. También, es importante conocer si los agricultores son nativos con muchos años produciendo en la misma región o son colonos recientes. Los colonos siempre llevan consigo sus variedades de maíz. En la selva, es necesario conocer la época de mayor nivel de los ríos y las rutas ribereñas. Con toda esa información, se planifica la colecta.

La estrategia de colecta y recolecta es una planificación que toma en cuenta las características de la especie y la estructura genética de las poblaciones; es decir, si las poblaciones son homogéneas ó heterogéneas, y si las poblaciones están formadas de individuos homocigotes ó heterocigotes; las formas de reproducción y la perecibilidad de los granos, frutos u órganos colectados. Esa información es necesaria para determinar el intervalo de la colecta o la distancia entre la colecta de dos muestras sucesivas.

En maíz, las poblaciones son altamente heterogéneas y la mayoría de los genes de las plantas están en genotipos heterocigotos. En general, el agricultor conserva mezclas de dos o más razas; así, la muestra debe ser representativa de las poblaciones que tiene el agricultor. En una muestra representativa, no se debe seleccionar por raza, color o cualquier otra característica.

El estudio hecho por Collado (2002) sobre la diversidad cultivada y socio-cultural de la Amazonía Central de Perú es un buen ejemplo de prospección, cuya metodología es descrita en esta publicación. Un total de 18 variedades fueron descritas en 13 comunidades estudiadas. Basándose en las denominaciones locales, en las entrevistas con los productores de las comunidades, el probable origen y la observación fenotípica, se describieron cuatro grupos poblacionales: raza Piricinco, Criollos introducidos, Mejorados introducidos y «Canchas» introducidos. Las comunidades Ashaninkas conservan más diversidad o más variedades que las comunidades Shipibo-Conibos quienes están más cerca de la ciudad de Pucallpa.

Los métodos de colecta o muestreo se aplican en el campo, en el momento de coleccionar la muestra. La estrategia de la colecta se puede definir antes de hacer la colecta, mientras que los muestreos se deciden en el momento, porque previamente es imposible conocer todos los detalles para obtener una buena muestra representativa.

Para que una muestra de maíz sea representativa, tendría que formarse con 100 mazorcas o más. Eso sólo es posible cuando se coleccionan grandes extensiones de un solo propietario. En extensiones pequeñas, como es el caso de los agricultores de las comunidades de la Selva, es imposible tener una muestra tan grande; aunque las decisiones se deben tomar al momento de hacer la colecta, y pueden sugerirse algunas recomendaciones. El tamaño de la muestra para coleccionar debe ser tal que se capturen con una probabilidad de 95%, al menos los alelos de todos los genes que se encuentran en una frecuencia mayor de 0.05. Los genetistas han estimado que una muestra de 100 mazorcas representa una población en la que se captarán con 95% de probabilidad todos los alelos en esa frecuencia (Crossa *et al.*, 1994).

En la práctica, es imposible coleccionar muestras de ese tamaño de un mismo productor de las comunidades de la selva. El tamaño de cada colección podría ser de 20 mazorcas o de 1 kg si el maíz está desgranado. Si el agricultor no se puede desprender de una muestra de ese tamaño, se puede hacer una muestra compuesta, juntando mazorcas de la misma raza o granos de las mismas características en una misma muestra, dentro de una misma localidad. La muestra debe estar acompañada de la siguiente información: departamento, provincia, distrito, nombre de la localidad o comunidad, altura sobre el nivel del mar, número de mazorcas coleccionadas o peso de grano coleccionado, nombre de la variedad, sitio de colecta (campo, almacén, mercado, tendal, otros). Esa información se consigna por duplicado; una copia se queda en el registro de la colecta, y la otra se deposita dentro de la bolsa donde se empaquetan las mazorcas o grano coleccionado.

Las muestras coleccionadas se identificarán con un número correlativo seguido de las siglas de la especie. En el caso del maíz, se recomienda la nominación siguiente: la primera colección se denominará ZM-1 (ZM de *Zea mays*), la segunda ZM-2 y así sucesivamente. Esa denominación es preliminar. Después que se termine la colección, se le dará a cada muestra el número definitivo.

Las mazorcas o el grano se deben envolver en papel periódico, bolsas de papel *kraft* o bolsas de tela de «tocuyo» (un tipo de tela resistente). Nunca se deben usar bolsas de plástico. Cada muestra se envuelve por separado incluyendo una copia de la papeleta de la colecta y se guarda en una caja térmica de poroflex cuya capacidad dependerá de las facilidades de transporte que tengan los colectores. Es preferible que cada caja no pase de 10 kg de peso, o sea, en promedio deben contener entre cinco a diez colecciones de maíz. Antes de cerrar la caja, se deposita una bolsa de tela o gaza con gel de sílice de aproximadamente 50 gramos.

Todas las cajas de las muestras deben llegar lo más pronto posible al lugar de procesamiento (desgrane y separación de granos dañados y materia extraña). Apenas llegan, las cajas se abren, se extraen las muestras, se desempacan y se ponen a secar al medio ambiente si no llueve, o en un ambiente bajo techo, pero muy ventilado. Si hay una secadora de aire caliente, se seca el grano aproximadamente a 10% de humedad. Se coteja la información del registro de campo con el duplicado de la papeleta dentro de la bolsa de la muestra. Esa información se recomienda registrar en un archivo electrónico de toda la colección el mismo día de recibir la muestra en la estación de acopio de muestras.

Antes de desgranar las mazorcas colectadas, se toma una foto a color de por lo menos ocho mazorcas de cada muestra y se toman los siguientes datos de diez mazorcas tomadas al azar: largo (cm), ancho (cm), número de hileras y número de granos por hilera. Después, se desgrana toda la muestra.

### **Caracterización**

La caracterización es básicamente morfológica, de caracteres con alta heredabilidad, o sea, que no son afectados por el ambiente. Otros caracteres de menor heredabilidad, pero de importancia agronómica o utilitaria deben ser también registrados.

La caracterización de la mazorca y el grano puede ser hecha en el momento de hacer el muestreo. Las características de la planta deben evaluarse sembrando toda la colección en un campo representativo de la región colectada y en la época de siembra más apropiada. Las parcelas de caracterización deben tener un mínimo de 50 plantas. Es preferible tener al menos dos repeticiones, aunque debido al número de las muestras, esta práctica no siempre es posible.

La competencia entre plantas influye mucho en algunos caracteres, como altura de planta, prolificidad, rendimiento de la planta y número de granos de la mazorca. Los datos de las plantas deben tomarse en plantas competitivas, es decir, plantas que tienen la misma competencia. Esto se logra al sembrar tres plantas, eliminar una, y dejar sólo dos por golpe cada 40 cm. Si se dispone de semilla suficiente, es preferible sembrar dos plantas cada 20 cm para dejar sólo una planta por golpe. Si se pierde una planta en golpes de dos, no se usa la planta que está sola, pero puede ejercer competencia, es decir, se entiende que no descalifica a las plantas adyacentes. Si se pierde la planta en golpes de una planta, se descalifican para la caracterización las dos plantas vecinas.

Para la caracterización del maíz, se utiliza la metodología y descriptores definidos en "Descriptores para maíz" del IBPGR (1991) (ahora Bioversity International) y para la evaluación preliminar, se usan los criterios que se utilizaron en el proyecto latinoamericano de maíz, LAMP (Salhuana *et al.*, 1997). En todos los casos, cada vez que un factor adverso afecta por igual a todas las parcelas (muestras), se evalúa con la escala de 1 a 9 en la que 1 es muy malo o muy afectado y 9 es muy bueno y sano.

Toda la colección se siembra el mismo día en un mismo campo, lo más uniforme posible. El primer descriptor que se registra es el porcentaje de germinación, contando el número de plantas germinadas expresado en porcentaje, dividiendo el total de plántulas entre el número de semillas sembradas y después multiplicando por cien. Después, se recorre el campo cada semana y se observan los síntomas de enfermedades, plagas o daños producidos por factores abióticos como calor, sequía, toxicidad de aluminio (si es el caso). Cuando se constate que el campo está uniformemente afectado por ese estrés, se evalúa con la escala citada. Se evalúa tanto la severidad de daño con la escala de 1 a 9, como la incidencia que es igual al número de plantas afectadas expresado en porcentaje. Para la evaluación de enfermedades y plagas, hay que tomar en cuenta que cada patógeno ataca en una época o estadio de la planta.

La floración masculina se registra cuando el 50% de las plantas está emitiendo polen, y la floración femenina cuando el 50% de las plantas tiene pistilos visibles. Aproximadamente 30 días después de la floración, cuando la planta completó su desarrollo, se toman los datos morfológicos. Se escogen dentro de la parcela 10 plantas competitivas para evaluar todos los datos morfológicos.

El mismo día en que se toma el dato, éste se registra en la computadora, directamente del libro de campo. El registro computarizado debe ser precedido por la definición del descriptor, los estados del descriptor y las unidades de medida o escala. El registro debe ser organizado de tal manera que la publicación del probable catálogo pueda hacerse a partir del registro sin mayores modificaciones.

### La clasificación racial

La clasificación racial en el maíz se ha hecho por aproximaciones sucesivas. Para la clasificación preliminar, no debería ser necesaria la presencia de un taxónomo, aunque sí es recomendable que la clasificación la haga un profesional con experiencia en el maíz de la región. La clasificación se hace en tres etapas: en el momento de hacer la colección, cuando se hace la caracterización de la planta y cuando se caracteriza la mazorca en la cosecha.

En el caso del maíz, lo que se colecta es una población heterogénea de plantas heterocigotas. Las muestras colectadas pueden ser típicas de la raza, sin contaminación; mezclas, cuando las mazorcas de la muestra pertenecen a diferentes razas; o cruza, cuando las mazorcas son progenie de híbridos entre dos o más razas. Las cruza se reconocen porque las mazorcas exhiben una combinación de caracteres de dos o más razas y la segregación de granos de diferente textura y color. Sin embargo, la segregación de granos de diferente color no es evidencia de cruzamiento. Las razas se diferencian unas de otras por la frecuencia de sus genes; por ejemplo, la frecuencia cigótica del gen P-rr en genotipos con el gen A de la raza Chimlos es 40%, mientras que la del Chunchu es 2.3% (Grobman *et al.*, 1961).

Frecuentemente, los colectores no tienen experiencia en la clasificación racial. En esos casos, es mejor coleccionar en mazorca y registrar con la mayor precisión posible el nombre común de la variedad y hacer la clasificación preliminar con el asesoramiento de un profesional más experimentado. La colección de maíz que se hizo en el año 2002 en Ucayali está compuesta de 61 muestras de las siguientes variedades: Duro (7 muestras), Híbrido (8), Serrano (10), Piedra (3), Maíz (5), Suave (11), Estaquillo (1), Amarillo brillante (1), Morado (2), Parchi jequé (1), Cancha Amarillo (1), Cancha Blanco (4), Amarillo suave (2), Cancha (5).

Posteriormente, se tuvo la oportunidad de analizar las mazorcas de algunas muestras. Tres colecciones con la denominación de Serrano (dos muestras) y Piedra (una muestra), todas fueron Cubano Amarillo. Las dos colecciones de la raza Piricinco fueron denominadas Amarillo Suave y Suave. La colección de la variedad denominada Cancha Amarillo puede ser Canilla (Grant *et al.*, 1963), denominada también *Chandelle* por Hatheway (1957) o Pipoca Amarelo de Brasil. La muestra denominada 'Cancha Blanca' es indudablemente 'Pipoca' de Brasil (Brieger *et al.*, 1958). Se denomina 'Cancha' al maíz harinoso que se consume tostado en la sierra de Perú. La raza Pipoca se consume reventado (conocido en inglés como *pop corn*) y en la selva se le denomina 'Cancha' a este maíz.

Las muestras de la misma raza o variedad se siembran juntas en parcelas adyacentes, en el campo de caracterización. En el momento de la floración, se recorre el campo observando la morfología de las plantas y se agrupan las colecciones que muestran igual fenotipo. Los caracteres que son buenos discriminadores y se pueden observar con facilidad son: precocidad, altura de la planta y la mazorca, tamaño y forma de la panoja (espiga), largo del pedúnculo de la panoja, color de la planta y la panoja.

Primero, se recorre el campo y se identifican parcelas similares. Si por ejemplo, la primera parcela es de plantas verdes, muy altas, tardías, panojas (inflorescencias en espiga) grandes abiertas con pedúnculos cortos; se le denomina preliminarmente como A; B sería una parecida, pero con plantas más bajas y panojas más chicas; C sería una colección con plantas medias, de color rojizo, y así sucesivamente. Las mazorcas son más fáciles de clasificar porque los caracteres de grano, como color y textura son de muy alta heredabilidad. El largo y ancho de la mazorca tiene menor heredabilidad, pero son caracteres importantes que discriminan bien entre razas. Por ejemplo, el largo de la raza Piricinco es muy característico, así como la forma de la mazorca abultada en la base y más delgada en la punta.

Todos los descriptores pueden posteriormente ser analizados con algún método de análisis discriminante, como el que usó Vega (1972) para verificar la clasificación preliminar de la diversidad del maíz en la sierra de Piura. Es conveniente advertir que una clasificación basada en análisis

discriminante, sin haber hecho previamente la clasificación racial con la metodología descrita, puede generar resultados difíciles de interpretar.

### **Regeneración**

En la selva, es conveniente regenerar el germoplasma después de colectado porque la semilla posiblemente no tiene el alto poder germinativo que se requiere para almacenar a largo plazo (conservación *ex situ*). Aunque la semilla tenga buen poder germinativo, porque ha sido recientemente cosechada, puede perder rápidamente su poder germinativo pues generalmente está afectada por el ataque de patógenos y tiene alta humedad. En esas condiciones, el deterioro de la semilla será más rápido, lo que afectará su poder germinativo.

Como el maíz es una planta alógama y el porcentaje de polinización cruzada es generalmente mayor al 95%, la regeneración debe hacerse con polinizaciones controladas y polinización manual de las plantas. Para ello, las inflorescencias femeninas de todas las plantas del campo se encierran con una bolsita transparente, antes que aparezcan los estigmas por la parte superior de la futura mazorca. En la selva, no deben usarse bolsitas de plástico para esta operación, porque la temperatura y humedad dentro de la bolsita pueden dañar la inflorescencia. Simultáneamente, las panojas o espigas se encierran con una bolsa de papel suficientemente fuerte para que soporte la lluvia y el viento, pero no tan pesada que cause la rotura del pedúnculo de la panoja.

Antes de embolsar las panojas, se cuenta el número de inflorescencias femeninas de la parcela a polinizar que tienen los pistilos afuera; el número de panojas embolsadas debe ser igual al número de inflorescencias con pistilos. Se poliniza al día siguiente, debido a que la duración del polen es de 24 horas aproximadamente, y al hecho de que las panojas o espigas, además de su propio polen, tienen el polen de otras plantas que el viento ha transportado y que se les pega. Si se poliniza el mismo día, lo más probable es que se produzca mucha contaminación. Al polinizar al día siguiente del embolsado, se asegura que sólo se use el polen propio de la panoja embolsada.

Es conveniente usar las plantas una sola vez, como macho o como hembra. A ese tipo de cruzamientos se les denomina cruzamientos en pares. Si hay pocas plantas en la parcela, se pueden usar cruzamientos en cadena. En ese caso, la planta puede ser usada como macho para polinizar otra planta y a su vez puede ser usada como hembra recibiendo el polen de otra planta.

Todos los factores que afectan las frecuencias génicas en poblaciones en equilibrio deben ser considerados en la regeneración, excepto la mutación. La contaminación con polen de otras parcelas es un caso de migración; también es un caso de migración cuando se mezclan por error mazorcas de parcelas distintas. La selección es también otro factor a tomar en cuenta. Cuando se poliniza, no se deben seleccionar las plantas. Es inevitable que haya alguna selección natural en contra de las plantas susceptibles de morir antes de producir polen o semilla, pero hay que evitar lo más que se pueda la polinización sólo de las mejores plantas o sólo de plantas que tienen la misma precocidad o morfología.

El número de plantas que debe ser usado por parcela es muy importante para evitar la deriva génica que se produce cuando se usan pocas plantas en la regeneración. Los genetistas han estimado que se deben polinizar por lo menos 100 plantas para no tener problemas con la deriva genética (Crossa *et al.*, 1994). En la práctica, se deben sembrar 400 plantas para asegurar 200 polinizaciones y así tener más de 100 mazorcas polinizadas.

El tamaño efectivo de progenitores aumenta cuando se toma un mismo número de semillas de cada mazorca polinizada para hacer la mezcla de semilla regenerada. Se recomienda tomar de cada mazorca 50 semillas para la muestra que va a ser conservada a largo plazo, 50 semillas para la colección activa y el resto de la mazorca se mezcla con semilla de la misma colecta para su utilización.

### **Estrategias de conservación *in situ***

Sólo después de haber hecho la prospección de la diversidad, la colecta, la caracterización y la clasificación racial, se puede definir la estrategia de la conservación *in situ*. Lo que se debe conservar es toda la diversidad de la especie en una región definida. La delimitación de la región es muy importante, ya que no sólo los criterios geográficos o ecológicos definen las regiones de conservación. Otros criterios importantes son el biológico y el cultural. El cultural es muy útil porque campesinos de una misma cultura tienden a conservar las mismas razas en sistemas de producción comunes.

Antes de tratar el criterio biológico, debemos definir primero la diversidad de la especie, y las diferencias entre diversidad y variabilidad. La diversidad incluye todas las diferentes formas taxonómicas que se encuentran en una región. En el caso del maíz, que es una planta cultivada que no tiene parientes silvestres en Perú, la diversidad total de la especie dentro de una región está formada por todas las razas que se encuentran en esa región. La diversidad de una especie silvestre está formada por todos los ecotipos que se encuentran en la región. Si es una especie cultivada o en proceso de domesticación, como muchas especies de la Amazonía que tienen parientes silvestres, la diversidad está formada por la especie cultivada y sus parientes silvestres. En ese caso, la prospección, que debe incluir un análisis taxonómico completo, debe preceder a la definición de la estrategia de colecta. La experiencia del estudio de la diversidad de especies muestra que muchas de ellas -consideradas como diferentes- son en realidad la misma especie. Por ejemplo, hace varios años, el nombre científico del teosintle o teozintle era *Euclaena mexicana*, o sea, un género distinto al del maíz. Actualmente, el teosintle es considerado de la misma especie que el maíz, su nombre científico es *Zea mays ssp. parviglumis* (Doedley, 1990).

La variabilidad expresa las variaciones en una característica dentro de una población. Por ejemplo, la capa harinosa en la corona del grano de la variedad de maíz Piedra que se siembra en Tabacoa varía de muy superficial a muy profunda. Los genetistas expresan la variabilidad en términos de parámetros genéticos; por ejemplo, la variedad Blanco Gigante de Cusco no respondió a la selección que se aplicó en varias oportunidades aplicando diferentes métodos de selección. Cuando se analizó la varianza genética para rendimiento, se encontró que toda la varianza genética era dominante; la varianza aditiva, que es requerida para obtener respuesta de las variedades a la selección intrapoblacional, fue cero.

La variabilidad es un componente de la diversidad, pero es un error estimar la diversidad por la variabilidad de caracteres simples que en la mayoría de los casos tienen una base genética muy simple, como el color o textura del grano. Es importante hacer esta distinción porque ciertas interpretaciones tienden a darle categoría de variedad a poblaciones que difieren sólo por el color. En el maíz, como puede ser obvio, en una misma mazorca segregan varios colores de grano y hasta texturas distintas.

Si en una región se presentan las mismas razas que se encuentran más o menos en las mismas frecuencias, toda esa región debe ser la unidad geográfica de conservación, sin importar el tamaño de la región; puede ser muy grande, como es típico en la Amazonía peruana. Las razas dentro de esa región son las unidades de conservación *in situ*.

### **Propuesta para un pre-mejoramiento**

#### **Formación de la población básica**

Se denomina población básica a la variedad que se forma recombinando poblaciones, generalmente relacionadas. En el caso del maíz de la selva, la población básica se formará con todas las colecciones. Se formarán dos poblaciones: la población de granos amarillos duros, denominada Amarillo Duro Selva (ADS); y la población de granos harinosos, denominada Harinoso Selva (HAS). Las poblaciones se forman haciendo una mezcla balanceada con el mismo número de granos por cada colección.

La mezcla se siembra en un campo aislado y protegido del ataque de animales, predadores y robos. Se siembra en surcos distanciados entre sí por 80 cm, localizando tres semillas por “golpes” (hoyo de siembra) separados cada 40 cm, para ralear después a sólo dos plantas cada 40 cm. Cada colecta se siembra en un surco aparte; por ejemplo, la colección ZM-6 (colección número 6 de *Zea mays*) se siembra en el primer surco, ZM-13 en el segundo y así sucesivamente (ver Figura 4).

h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
ZM-6	ZM-13	ZM-19		ZM-27	ZM-35	ZM-39	
h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
h	h	h	m	h	h	h	m
ZM-45	ZM-78	ZM-87		ZM-99	ZM-102	ZM-116	

h, plantas hembras: colecciones individuales se desespigan

m, plantas macho: mezcla balanceada de semillas de todas las colecciones

ZM-6, colección número 6 de *Zea mays*; ZM-13, colección número 13 de *Zea mays*; y sucesivamente

**Figura 4.** Formación de la población básica: Amarillo Duro Selva (ADS)

### Recombinación de todas las muestras de la misma raza

Al momento de la floración, se eliminan las panojas (espigas) de todas las plantas defectuosas o atacadas por plagas o enfermedades. Se cosechan sólo plantas competitivas (con competencia completa) que están en golpes de dos plantas y tienen adelante y atrás golpes de por lo menos una planta. La cosecha de las plantas competitivas se coloca al pie de cada planta. La selección se hace escogiendo para semilla sólo la mejor de diez plantas competitivas sucesivas cosechadas en el mismo surco.

Cada mazorca seleccionada se desgrana por separado. Cien semillas de cada mazorca se ponen en un sobre rotulado con un número consecutivo precedido de ADS o HAS; por ejemplo, ADS-1, ADS-2, etc. Cien semillas de la misma mazorca se juntan en un saco, rotulado como macho C1 (primer ciclo). El resto de las semillas se guarda junto con toda la documentación de datos de pasaporte (origen y localización geográfica de la colección) y los datos morfológicos y adaptativos resultantes de la caracterización y evaluación de los experimentos.

### Recombinación y selección en los campos semilleros

Los campos semilleros se siembran con la semilla proveniente de las mazorcas seleccionadas. Si se han seleccionado 123 mazorcas en el primer ciclo, debe haber 123 parcelas hembras, denominadas así porque se les va a extraer las panojas o espigas que tienen el gametofito masculino; son plantas que no van a producir polen. Cada una de esas hembras corresponde a una familia de medios hermanos con un solo progenitor común: la madre.

Un campo aislado se prepara con surcos distanciados a 80 cm. Cada cuatro surcos sembrados con semilla de las familias en parcelas de un solo surco de 10 metros de largo, se siembra la semilla del macho C1, o sea, cada grupo de cuatro familias sembradas juntas está flanqueada por dos surcos de la población macho (ver Figura 5).

Antes de la floración, se recorre el campo para eliminar las panojas de los surcos hembras o parcelas de las familias, a medida que las panojas van saliendo por el cogollo de las plantas. Todas las plantas deben ser desespigadas de manera que todo el campo es polinizado sólo por las plantas de los surcos macho (macho ADS-C1 en la Figura 5). De cada mazorca seleccionada [(h) en la Figura 5]; 100 semillas son destinadas para dos repeticiones y 100 semillas para integrar el próximo macho polinizador, ADS-C2.

h ←	h	h ←	h	m
H	h	h	(h)	m
H	(h)	h	h	m
H	h	h	h	m
H	h	h	(h)	m
H	h	h	h	m
H	(h)	h	h	m
H	h	h	(h)	m
H ←	h	h ←	h	m
ADS – 1*	ADS – 2	ADS – 3*	ADS – 4	ADS – C1

\* Familia eliminada; ADS – 1 y ADS-3, familias 1 y 3 del Compuesto Amarillo Duro Selva.

**Figura 5.** Selección y recombinación de los compuestos (amarillo duro selva, ADS); h, Mazorca seleccionada de la familia escogida.

### Selección y recombinación

Se cosechan por separado los surcos de las familias que han sido despanojadas. Se seleccionan las parcelas que muestran un buen rendimiento, mazorcas de buen aspecto, sanas y del color y tipo correspondientes a la variedad que quieren seleccionar los agricultores. Dentro de cada parcela seleccionada, se escogen las mejores mazorcas que se guardan con su identificación. Las mazorcas seleccionadas se identifican con la denominación de la familia seguida del número de mazorca seleccionada. Por ejemplo, si se han seleccionado cinco mazorcas de la familia ADS-46, la progenie de la quinta mazorca formará una familia para el siguiente ciclo que se denominará ADS-46-5.

La semilla del macho se formará con la mezcla de semilla que corresponde a la recombinación de las mejores mazorcas seleccionadas en el ciclo anterior. Esa semilla se cosecha, se desgrana y se reparte a los agricultores para que siembren en sus propios campos. Los agricultores no necesitan producir su propia semilla; todos los años pueden asistir a la cosecha y selección de los campos participativos y recoger la semilla que necesitan. Un campo de selección de aproximadamente 100 familias puede producir 500 kg de semilla del macho. Si cada agricultor siembra una hectárea con esa semilla, puede haber semilla para 25 agricultores. Si hay más agricultores o si los agricultores siembran más de una hectárea, será necesario producir semilla usando como semilla básica la semilla del macho. De esta forma, se pueden producir hasta 25 hectáreas de semilla comercial en el siguiente ciclo de cultivo. Ese campo de producción puede hacerse también en forma participativa.

### **Ejecución de experimentos con parcelas pareadas**

Los experimentos en los que se comparará la semilla seleccionada *versus* la semilla del propio agricultor se llevarán a cabo en el 10% de los agricultores que aportaron semilla para la colección. Los experimentos tendrán dos repeticiones, dos entradas por repetición. Las dos parcelas de tratamientos serán de aproximadamente 50 metros cuadrados; en una de ellas, se sembrará semilla del macho C2 y en la otra, se sembrará la semilla del agricultor. Los agricultores participarán en la ejecución de los experimentos en la cosecha y sacarán sus conclusiones basadas en la comparación entre esos dos tratamientos. El manejo del campo será exactamente con la tecnología que usa el agricultor.

### **Referencias**

- Brieger, F., J. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein and M. Alleoni. 1958. Races of Maize in Brazil and Other Eastern South American Countries. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. *Publication No. 593*. Washington D.C.
- Brown, W. L. 1960. Races of Maize in the West Indies. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. *Publication No. 792*. Washington D.C.
- Collado, L. A. 2002. Diversidad cultivada y socio-cultural en la Amazonía Central del Perú. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria de La Selva. Tingo María, Perú.
- Crossa, J., S. Taba, S.A. Eberhart, P. Bretting and R. Vencovsky. 1994. Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor. Appl. Genet.* 89: 89-95.
- Doedley, J. 1990. Molecular evidences and the Evolution of Maize. *Econ. Bot.* 44: 6-27.
- Goodman, M. M. and W. L. Brown 1988. Races of corn. In: Sprague GF and J.W. Dudley, editors. *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph No. 18*. A.S.A. Madison, Wisconsin, WI, USA.
- Grant U., W. Hatheway, D. Timothy, C. Cassalet and L. Roberts. 1963. Races of Maize in Venezuela. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. *Publication No. 1136*. Washington D.C. USA.
- Grobman A., W. Salhuana and R. Sevilla, in collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1961. Races of Maize in Perú. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. *Publication No. 915*. Washington D.C. USA.
- Hatheway W. H. 1957. Races of Maize in Cuba. Nat. Ac. of Science, Nat. Res. Council. *Publication No. 453*. Washington D.C. USA.
- Hernández X., E. y G. Alanis. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. *Agrociencias (México)* 5: 3-30.
- IBPGR. 1991. *Descriptores para Maíz*. CIMMYT, México. IBPGR, Roma, Italia.
- Neuffer M.G, L. Jones and M.S. Zuber. 1968. *The Mutants of Maize*. Crop Soc. of Am. Wisconsin, USA. 74 p
- Kiesselbach T.A. 1949. *The Structure and Reproduction of Corn*. Univ. of Nebraska. Col. of Ag. Exp. Station. *Research Bulletin 161*. Lincoln, Nebraska. USA.
- Salhuana, W., R. Sevilla and S. Eberhart (eds.). 1997. LAMP (Latin American Maize Project) Final report. Pioneer Hi-Bred International Spec. Pub. G12083. Johnston, IA. 146 p.
- Sevilla R. 1975. Razas de Maíz: Piricincó. Informativo del Maíz No.8. Julio-Agosto 1975. PCIM-UNA La Molina. Lima, Perú.
- Vega, M. A. 1972. Análisis discriminante para la determinación de las razas de maíz. Tesis de Ing. Estadístico. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, y E. Hernández X. en colaboración con P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México: Su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. O.E.E. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México D.F.
- Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. In: Walden DB, editor. in *Maize Breeding and Genetics*. J. Wiley and Sons. Illinois, USA, pp. 59-84.



# Los recursos genéticos del maní o cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) en Perú: bosquejo taxonómico y apuntes sobre la colecta, multiplicación y caracterización del germoplasma<sup>1</sup>

**David E. Williams**

Bioversity International (antes conocido como el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI), Oficina Regional para las Américas, c/o CIAT A.A. 6713 Cali, Colombia. (Dirección actual: USDA Foreign Agricultural Service, 1400 Independence Ave. SW, South Building, Room 3005, Stop 1084, Washington, DC 20250, USA. Email: david.williams@fas.usda.gov).

## Introducción

El maní o cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) es la leguminosa de grano más cultivada en el mundo y, por ser originario del continente sudamericano, tiene una larga trayectoria en Perú desde tiempos prehistóricos. En la costa de Perú, donde las condiciones secas favorecen la preservación de restos biológicos, han encontrado muestras arqueológicas de maní domesticado que datan de aproximadamente cinco mil años A.C. (Pearsall, 1992). La abundancia de hallazgos arqueológicos de frutos de maní (Roque *et al.*, 2003), así como la diversidad de sofisticadas representaciones gráficas y esculturales de maní en cerámica, monumentos líticos y orfebrería, son evidencias de la gran importancia económica, gastronómica y cultural que tenía el maní para las civilizaciones prehispánicas de Perú. En la actualidad, existe en Perú una variabilidad espectacular de razas nativas de maní, a tal grado que el país es uno de los más ricos del mundo en diversidad de esta planta. Esta variabilidad se manifiesta principalmente en la selva y la costa peruanas, donde los climas cálidos favorecen su producción.

La alta variabilidad genética de los maníes peruanos se manifiesta en los numerosos colores de semilla, formas de vaina, tamaños y hábitos de las plantas, duración de sus ciclos productivos, y otras variables morfológicas y fenológicas, que a primera vista pueden resultar confusas y difíciles de interpretar para el investigador. Obviamente, para cualquier estudio científico o agronómico que se pretenda hacer sobre un cultivo, es preciso contar con una identificación precisa del material o materiales con los cuales se está trabajando. Aquí, se desglosa la manera sistemática de analizar las variables morfo-agronómicas para distinguir y determinar los diferentes grupos taxonómicos infraespecíficos de maní, correspondientes a los diferentes y muy variados materiales que se encuentran en Perú.

Desde el punto de vista taxonómico, la especie de maní cultivado, *Arachis hypogaea*, está dividida en dos subespecies (subsp. *hypogaea* y subsp. *fastigiata*), las cuales a su vez se subdividen en seis variedades botánicas. La subespecie *hypogaea* cuenta con dos variedades botánicas: var. *hypogaea* y var. *hirsuta*; mientras la subespecie *fastigiata* está conformada por cuatro variedades botánicas: var. *fastigiata*, var. *peruviana*, var. *aequatoriana* y var. *vulgaris*. Por último, dentro de cada variedad botánica, existe una serie de razas locales que son distintas entre sí y generalmente se distinguen por su color de semilla, su forma de vaina y el porte de su planta. En este trabajo, se hace énfasis en la clasificación de las subespecies y variedades botánicas, con algunas referencias a razas locales que puedan encontrarse en Perú.

Aunque no faltan excepciones, en términos generales, a grandes rasgos se pueden distinguir las dos subespecies de maní a partir de unas pocas características agromorfológicas que son determinantes y relativamente fáciles de observar (Cuadro 1). Los maníes de la subespecie

---

<sup>1</sup>Agradezco a mi amigo y colega, Dr. José Luis Chávez, por sus incansables aportes a la implementación del proyecto sobre conservación *in situ* en el Departamento de Ucayali, y por su estímulo y paciencia en la preparación de este artículo. También quisiera reconocer al Dr. Alfredo Riesco (Q.E.P.D.), entonces director de CODESU, por su amistad, su entusiasmo, y valiosa contribución a la conservación de cultivos nativos en la Amazonía peruana.

*hypogaea* se distinguen por ser plantas de porte rastrero o semi-rastrero, por no tener flores en el eje central, y ser de ciclo relativamente largo, sus flores y frutos se presentan de forma alternada con ejes vegetativos a lo largo de sus ramas laterales, y los frutos tienen una marcada reticulación en las vainas. Generalmente, son de dos semillas que muestran latencia en su germinación. En cambio, los maníes que pertenecen a la subespecie *fastigiata* se distinguen por ser plantas de porte erecto o decumbente, con flores en el eje central, de ciclo relativamente corto y cuyas flores y frutos se presentan de manera secuencial; es decir, concentrados en los primeros nudos de las ramas laterales y alrededor de la base de la planta, producen frutos unas veces con poca y otras con profunda reticulación en las vainas, que puedan contener de 2 a 5 semillas, las cuales carecen de latencia en su germinación. Con información sobre estas variables claves, es posible en muchos casos, determinar la subespecie y hasta la variedad botánica de una muestra de maní, aun sin conocer la planta. Como veremos más adelante, esta determinación preliminar es sumamente útil para el buen diseño experimental de una parcela de caracterización de una colección de germoplasma.

Carácter/Subespecie	<i>hypogaea</i>	<i>fastigiata</i>
Hábito de la planta	Rastrera	Erecta
Flores en el eje central	No	Sí
Patrón de ramificación vegetativa/reproductiva	Alternada	Secuencial
Duración del ciclo productivo	Largo	Corto
Latencia de las semillas	Sí	No

**Cuadro 1.** Rasgos agromorfológicos claves para distinguir las subespecies de maní (*Arachis hypogaea* L.)

Para una determinación más precisa de las subespecies y variedades botánicas, se presenta a continuación la clave dicotómica que fue publicada por Krapovickas y Gregory (1994) en su monografía del género *Arachis*.

**Clave para distinguir los taxones infraespecíficos de *A. hypogaea* L. (reproducida de Krapovickas y Gregory 1994)**

Clave para distinguir los taxones de <i>A. hypogaea</i>	
A. Eje central sin flores y ramas n+1 en las que alternan regularmente dos ramas vegetativas y dos reproductivas (ramificación alternada).	69a. subsp. <i>hypogaea</i>
B. Folíolos con el envés glabro o con algunos pelos sobre el nervio medio.	1. var. <i>hypogaea</i>
B'. Folíolos con el envés con pelos de 1 a 2 mm long., esparcidos en toda la superficie.	2. var. <i>hirsuta</i>
A'. Eje central con flores y ramas laterales en las que las ramas reproductivas y vegetativas no presentan ningún orden (ramificación secuencial).	69b. subsp. <i>fastigiata</i>
C. Frutos con más de dos semillas. Fructificación extendida.	
D. Folíolos con el envés glabro o con pelos solamente sobre el nervio medio.	
E. Frutos con retículo suave o algo marcado, sin que se destaquen las costillas longitudinales. Ramas reproductivas por lo común breves y delgadas.	1. var. <i>fastigiata</i>
E'. Frutos siempre con retículo muy marcado y con costillas longitudinales sobresalientes. Ramas reproductivas largas, 5-10 cm long., robustas, tanto en el eje central como en las ramas laterales.	2. var. <i>peruviana</i>
D'. Folíolos con el envés con pelos de 1 a 2 mm long., esparcidos en toda la superficie. Ramas reproductivas largas, principalmente en las ramas laterales. Eje central por lo común con inflorescencias o ramas reproductivas breves.	3. var. <i>aequatoriana</i>
C'. Frutos por lo común con dos semillas. Fructificación aglomerada hacia la base de la planta. Con frecuencia, espigas compuestas.	4. var. <i>vulgaris</i>

## Descripción de las variedades botánicas

***A. hypogaea* subsp. *hypogaea* var. *hypogaea*.** Tipo comercial: “Virginia” y “Runner”.

Planta anual, comúnmente tardía. El eje central es erecto, sin inflorescencias. Ramas laterales regularmente procumbentes y a veces decumbentes. En la ramas laterales basales (n+1), alternan regularmente dos ramas vegetativas y dos reproductivas. Hojas medianas con folíolos con haz y envés glabro o con algunos pelos sobre el nervio medio del envés. Espigas reproductivas simples, breves, raro hasta 5 cm de longitud. Frutos por lo común con 2-3 semillas y en algunos casos hasta 4; el pericarpio medianamente reticulado.

***A. hypogaea* subsp. *hypogaea* var. *hirsuta*.** Tipo comercial: “Hirsuta”, “Peruvian runner”.

Planta anual, muy tardía, y ramificada de gran desarrollo. El eje central es de erecto a postrado de hasta un metro de longitud, sinuoso, sin inflorescencias. Las ramas también son extendidas y sinuosas desde decumbentes a procumbentes. En las ramas laterales principales (n+1), se alternan regularmente dos ramas vegetativas y dos reproductivas. Hojas medianas con folíolos de haz glabro y el envés con pelos esparcidos de 1 a 2 mm de longitud. Frutos regularmente 3 y rara vez con 4 semillas; pericarpio muy reticulado y uniforme, con pico de loro (Krapovickas, 1995). Esta variedad de maní es encontrada frecuentemente en las excavaciones arqueológicas de la costa de Perú, donde aún se sigue cultivando.

***A. hypogaea* subsp. *fastigiata* var. *fastigiata*.** Tipo comercial: “Valencia”.

A diferencia de las variedades anteriores, es una planta anual precoz, con el eje central poco ramificado y con algunas inflorescencias. Las ramas laterales son decumbentes o semidecumbentes con distribución irregular (ramificación secuencial) de ramas vegetativas y reproductivas. Las hojas medianamente grandes contienen folíolos con ambas caras glabras, aunque pueden presentar algunos pelos en el nervio medio del envés. Inflorescencias axilares breves. Frutos con hasta 4 semillas; pericarpio relativamente liso hasta medianamente reticulado.

***A. hypogaea* subsp. *fastigiata* var. *peruviana*.** Tipo comercial: “Peruvian Valencia”.

En esta variedad, el eje central presenta ramas vegetativas en la base y reproductivas en el ápice. Las ramas más laterales son decumbentes sin ramas vegetativas o con muy pocas. Las ramas reproductivas son de 5 a 10 cm de longitud, gruesas, multiflorales, a veces con hojas hacia el ápice y abundantes tanto en el eje central como en las ramas laterales. Hojas grandes y ligeramente gruesas con folíolos que presentan ambas caras glabras; los pelos, si aparecen, están sobre el margen y en nervio medio del hipófilo. Los frutos presentan regularmente 3 semillas y en algunos casos hasta 4; pericarpio muy reticulado y con costillas longitudinales sobresalientes. Es una variedad cultivada en casi todo Perú, especialmente en la vertiente oriental entre los Andes y la Amazonía. Se presentan variaciones en forma del fruto y color del grano. Los colores más frecuentes son el negro o violáceo y el pálido, pero también hay granos variegados o veteados como el caso de la raza Tingo María (Krapovickas, 1995).

***A. hypogaea* subsp. *fastigiata* var. *vulgaris*.** Tipo comercial: “Spanish”.

Es una planta erecta y relativamente compacta con algunas inflorescencias en eje central, erecto y a veces difícil de distinguir por ser muy ramificado. Las ramas laterales varían de decumbentes a erectas e inflorescencias breves de 1 a 2 cm de longitud, ya sean simples o compuestas y agrupadas en los nudos basales. Hojas medianas cuyos folíolos tienen en ambas caras pelos largos en el margen y algunos en el nervio medio del envés. La fructificación se concentra en la base de la planta. Los frutos son pequeños, por lo común de dos semillas; pericarpio medianamente reticulado. Los maníes tipo “Spanish” son los más representativos de esta variedad y se cultivan en varios países de Sudamérica, especialmente en la región guaraníca. El color del grano es regularmente pálido, pero puede ser negro y muy rara vez rojo o colorado.

En el Cuadro 2, se resume la relación entre las variedades botánicas, sus designaciones comerciales, y sus principales áreas de origen y diversidad.

**Cuadro 2.** Subespecies, variedades botánicas y principales variedades comerciales en *A. hypogaea*.

Subespecie	Variedad botánica	Tipo comercial	Áreas de origen y diversidad
subsp. <i>hypogaea</i>	var. <i>hypogaea</i>	Virginia	Sureste de Bolivia, norte de Argentina
	var. <i>hirsuta</i>	Hirsuta	Perú
subsp. <i>fastigiata</i>	var. <i>fastigiata</i>	Valencia	Perú, Brasil y Paraguay
	var. <i>peruviana</i>	raza Tingo María	Perú, Ecuador
	var. <i>aequatoriana</i>	raza Zaruma	Ecuador
	var. <i>vulgaris</i>	Spanish	Paraguay, Uruguay y Brasil

### Exploración de la diversidad de maníes y muestreo en campo de los agricultores

La historia de la exploración y colecta sistemática de germoplasma de maní en Perú empezó con los viajes de colecta auspiciados por Bioversity International (el entonces IBPGR de la FAO), con expediciones lideradas por C. E. Simpson y J. Pietrarelli; en 1980, a Lima, Cuzco y Quillabamba (Simpson, 1981); y en 1981, a Lima, Tingo María, Tarapoto, Iquitos y Ayacucho; y luego en 1985, un viaje liderado por D. Banks a Lima, Casma, Chimbote, y Trujillo (Banks, 1985). Las muestras colectadas fueron depositadas en Perú, con duplicados enviados a los bancos de germoplasma de maní del ICRISAT en la India, USDA en los Estados Unidos e INTA de Argentina. Posteriormente, han habido otras misiones de colecta por investigadores peruanos como Antonio Salas y Jaime Mori (Mori, 2003).

La exploración para maní en regiones tropicales suele presentar dificultades para la obtención de semilla de buena calidad y en cantidades adecuadas para una muestra representativa. La alta humedad relativa y temperaturas, unidas a los ataques de insectos y plagas, son factores limitantes para los pequeños agricultores en el almacenaje de su semilla. En los campos de agricultores que siembran maní, no siempre es posible obtener un tamaño de muestra ideal. Las colectas de *Arachis* se han hecho teniendo en mente que “la muestra no puede ser más representativa que las condiciones que el campo permita, y éstas frecuentemente son muy limitantes” (Bennett, 1970). Así, una muestra apropiada de maní cultivado, obtenida a través de un mercado local puede ser de 1 kg (750 a 4000 semillas). Sin embargo, con frecuencia los agricultores disponen solamente de 1 kg de semilla para realizar toda su siembra; así que una muestra de 20 a 30 vainas puede ser suficiente para representar a la población que maneja el agricultor (Simpson, 1984). La temporada más apropiada para hacer una misión de colecta para obtener semillas de alta viabilidad es durante la cosecha o inmediatamente después de ésta. En muchos casos, el germoplasma que se obtiene -sea en un mercado o directamente de un agricultor- está en forma de semilla con o sin la vaina, sin evidencias de la planta correspondiente. En estos casos, es importante que el colector apunte información del agricultor sobre el porte de la planta, su ciclo productivo y las características de la vaina si ésta no está presente; además, los datos de pasaporte que se registran en el momento de la colecta. Esta información es necesaria para la determinación tentativa de la subespecie y variedad botánica de la muestra, y de suma utilidad posterior en el diseño de las parcelas de caracterización de los materiales colectados.

## **Pautas para la multiplicación y caracterización de germoplasma de maní**

Esta metodología está basada en la empleada por el Ing. Antonio Krapovickas y el Agr. José Pietrarelli en sus trabajos pioneros de caracterización de los maníes nativos del Ecuador, Bolivia, y Perú. El diseño experimental se basa en el orden taxonómico de las subespecies y variedades botánicas de *Arachis hypogaea* (Krapovickas y Gregory, 1994), y luego por otras características típicas de las razas, tales como color de semilla, forma de vaina, aspectos de la planta, etc. Esta metodología permite obtener rápidamente una visión mucho más precisa de la diversidad presente en esta colección que si la siembra de los materiales fuera al azar o con base en números de colecta que no toman en cuenta a los grupos taxonómicos infraespecíficos del maní cultivado.

Siguiendo las instrucciones detalladas de siembra, se deben sembrar los materiales en el orden taxonómico, empezando por la variedad *hypogaea*, seguido por la variedad *hirsuta*, seguido por las variedades *fastigiata*, *peruviana*, *aequatoriana* y *vulgaris*, consecutivamente. Este diseño —en el momento de observar las plantas y aplicar los descriptores— facilita mucho la comparación de materiales semejantes, así como la detección de materiales únicos.

Los materiales de la subespecie *hypogaea* (vars. *hypogaea* e *hirsuta*) son rastreros, tardíos y algunas poblaciones (muestras) vigorosas pueden producir plantas muy grandes con ramas rastreras de más de un metro de largo. Por lo tanto, estos materiales se deben sembrar con mayor espacio entre las plantas y entre los surcos para permitir el buen desarrollo de las plantas individuales, sin que se entremezclen con las colectas vecinas. Si durante el periodo de crecimiento, se observa que plantas de diferentes muestras llegan a tocarse, es importante podarlas oportunamente para evitar que una accesión produzca frutas en la parcela de otra y, en lo posible, evitar que haya polinización cruzada entre diferentes muestras. De no tomar estas precauciones, se compromete la integridad genética del germoplasma multiplicado y entonces se producirán mezclas indeseadas en las semillas cosechadas.

Los materiales de la subespecie *fastigiata* (vars. *fastigiata*, *peruviana*, *aequatoriana* y *vulgaris*) son generalmente de hábito erecto, son más precoces, y pueden sembrarse a menor distancia entre plantas y surcos, de acuerdo con la metodología de siembra especificada en el diseño experimental.

### **Requerimientos básicos**

1. Sembrar un máximo de 168 semillas, o un mínimo de 40 semillas, por muestra colectada, según la disponibilidad de semilla.
2. Los requerimientos de espacio dependen del número de materiales a multiplicar o caracterizar, y del espacio entre surcos según los requerimientos de las diferentes subespecies (ver abajo). Unos 2000 metros cuadrados deben ser suficientes para caracterizar una colección de 100 colectas.
3. Mano de obra suficiente para preparar el suelo para la siembra, la siembra misma, mantenimiento de las parcelas y manejo agronómico para la caracterización aplicando los descriptores, cosecha, secado, procesamiento de las muestras (desprender las vainas de las plantas; limpiarlas de tierra, piedras y suelo), y preparación de las muestras para enviar al banco de germoplasma.

### **Distancia entre surcos**

Para reducir en lo posible la incidencia de cruzamientos entre accesiones y permitir el pleno desarrollo de las plantas para su caracterización morfológica, se recomienda una distancia entre surcos de 90 cm.

### Tamaño de las parcelas

El tamaño mínimo de cada parcela será de cuatro surcos de 5 metros de largo. Cada muestra por caracterizar tendrá su propia parcela de cuatro surcos. Se calcula la superficie total requerida para caracterizar o multiplicar una colección en función del número de muestras que se van a multiplicar (por ejemplo: 108 muestras x 4 surcos x 5 m de largo x 0.90 m de ancho = 1944 m<sup>2</sup>).

### Densidades de siembra

1. Para las colectas correspondientes a la subespecie *hypogaea*, se sembrarán 6 semillas por metro (6 x 5 x 4 = 120 semillas).
2. Para las colectas correspondientes a la subespecie *fastigiata*, se sembrarán 12 semillas por metro (12 x 5 x 4 = 240 semillas).
3. Para aquellas colectas con pocas semillas (menos de 240 semillas, pero un mínimo de 40), se reduce la densidad de siembra para los cuatro surcos. Otra opción para colectas con muy pocas semillas sería sembrarlas en un sitio apartado de otras plantas de maní con una distancia mínima de 100 metros para evitar la posibilidad de cruzamientos.
4. Para todas las colectas, **es muy importante que se aparte y conserve una pequeña porción de la semilla original** para prevenir cualquier eventualidad de fracaso de la siembra de multiplicación. Si hay suficiente semilla original en existencia, es conveniente apartar unas 100 semillas de este material como respaldo de seguridad.

### Diseño de las parcelas y orden de siembra

Para prevenir la polinización cruzada entre las diferentes colectas sembradas en estrecha proximidad, se sembrarán cuatro surcos de cada colecta, de los cuales solamente se cosecharán los dos surcos centrales para luego depositar esta semilla en los bancos de germoplasma. Los dos surcos exteriores servirán de “amortiguamiento”, cuyas semillas no deben incluirse en los lotes de germoplasma multiplicado debido a su alta probabilidad de haberse cruzado con las muestras o colectas vecinas.

Para facilitar la caracterización, comparación y determinación de los diferentes materiales, así como para agilizar la cosecha de los mismos, se realizará la siembra de las parcelas en orden taxonómico, es decir, agrupando las accesiones de acuerdo con los diferentes taxa (subespecies y variedades botánicas) a los cuales pertenecen, y dentro de estos taxa se agruparán las accesiones en función de otras características que puedan tener en común, tales como forma de vaina, número y color de las semillas. En términos generales, las plantas de la subespecie *hypogaea* son tardías y de hábito rastrero, mientras las plantas de la subespecie *fastigiata* son precoces y de hábito erecto. En Perú, como en pocos otros países del mundo, se encuentran todas las subespecies y variedades botánicas, pero con algunas variedades, como la var. *hirsuta* y la var. *aequatoriana*, menos frecuentes que las variedades botánicas comerciales o razas nativas ampliamente distribuidas entre los productores campesinos. En lo posible, es importante determinar —aunque sea tentativamente— la identidad taxonómica de las accesiones *a priori* para obtener un diseño lógico de siembra de las parcelas que conduzca a una buena multiplicación y caracterización de los materiales.

### Procedimientos

- I. Preparar la tierra para sembrar. Quitar toda la vegetación y aflojar el suelo a mano, con animales o tractor.
- II. Preparar la semilla para sembrar. Extraer la semilla de las vainas manualmente y aplicarles un fungicida si está disponible.
- III. Sembrar la semilla en la época normal de producción.

- IV. Mantener las parcelas. Deshierbar una o dos veces por semana. Aplicar los riegos necesarios, si se dispone de ellos.
- V. Caracterizar aplicando los descriptores a las plantas en el campo entre los los 70 y 80 días después de la siembra.
- VI. Cosechar plantas con frutos (vainas) cuando estén maduros: de 90 a 135 días después de la siembra, según la subespecie y estado de madurez de las plantas.
- VII. Procesamiento de muestras. Separar las vainas de las plantas, sin extraer la semilla. Limpiar la muestra de basura, piedras y tierra.
- VIII. Aplicar los descriptores a los frutos (vainas).
- IX. Aplicar los descriptores a las semillas.
- X. Empacar y enviar un mínimo de 1 kg de semilla descascarada de las colectas multiplicadas al banco de germoplasma nacional (p. ej. Banco del INIA). Depositar otra porción en el banco de germoplasma de trabajo local o en otro banco para que sirva de respaldo.
- XI. Archivar la información de la caracterización y multiplicación en la base de datos del banco de germoplasma del INIA, y conservar otra copia de la información con la colección de trabajo o de respaldo.

### **Descriptores**

Se recomienda usar los descriptores mínimos (17) requeridos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para la caracterización de germoplasma de maní cultivado. Estos descriptores están disponibles en edición impresa por el USDA (*United States Peanut Descriptors. 1995. Roy N. Pittman, (ed.) ARS-132., 18 pp., USDA-ARS, Griffin, Georgia, USA*). Alternativamente, se puede usar la lista de descriptores para maní publicada por el IPGRI (1982) (ahora Bioversity International), asegurándose de aplicar por lo menos los descriptores mínimos, indicados en la publicación por un asterisco. Ambas listas están basadas en las mismas características y variables morfo-agronómicas.

Además de los descriptores arriba mencionados, también conviene tomar observaciones sobre los siguientes caracteres adicionales:

1. Altura de eje central
2. Longitud y ancho de folíolo del eje central
3. Longitud y ancho de folíolo de la rama lateral
4. Longitud y ancho del fruto (vainas)
5. Longitud y ancho de la semilla

Un cronograma útil para el seguimiento de las actividades se presenta en el Cuadro 3, pero puede variar según las condiciones ambientales del lugar donde se realice la caracterización.

Actividad	Mes							
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Desecación de parcelas	---							
Siembra y fertilización	---							
Cuidados culturales		---	---	---				
Aplicar descriptores				---	---	---		
Cosecha				--	---	---		
Secado natural					---	---		
Arranque manual de vainas					---	---		
Acondicionamiento para la cámara fría							---	
Documentación y preparación del informe							---	---

**Cuadro 3.** Cronograma modelo de actividades

### **Conclusión y recomendaciones**

Como ya se mencionó, Perú es uno de los países más diversos del mundo en cuanto a variedades de maní cultivado. A pesar de estar conscientes de la riqueza de maní que existe en el país, nuestro conocimiento científico sobre la amplitud fitogenética y la distribución geográfica de esta diversidad es todavía muy incompleta y requerirá mucho más trabajo de campo y de laboratorio. Históricamente, trabajos muy completos como éste —y sobre cultivos tan importantes como el maní— se han realizado mediante colaboraciones internacionales en las cuales las instituciones nacionales e internacionales comparten los costos de exploración e investigación, así como de conservación de los materiales rescatados. Desafortunadamente, en los últimos 10 o 12 años, el panorama político ha cambiado dramáticamente con respecto al acceso a los recursos fitogenéticos, a partir del reconocimiento internacional de la soberanía de las naciones sobre sus propios recursos genéticos. Nuevas leyes nacionales e internacionales se implementaron con buenas intenciones de proteger estos recursos que en la práctica, irónicamente, han presentado fuertes obstáculos al acceso e intercambio de germoplasma; y así, a la misma colaboración internacional en el tema. La trágica y principal consecuencia de esto ha sido una acelerada y descontrolada erosión genética de los recursos que se pretendían proteger. Por lo tanto, y ahora más que nunca, es importante que las instituciones y los investigadores peruanos tomen interés en los maníes nativos y asuman la responsabilidad correspondiente a dicha soberanía para asegurar una buena conservación y el debido aprovechamiento de este incomparable patrimonio nacional para el futuro del país, así como para toda la humanidad.

### **Referencias**

- Gregory, W.C. and M.P. Gregory. 1976. Groundnut - *Arachis hypogaea* (Leguminosae-Papilionatae). Pp. 151-154 in *Evolution of Crop Plants* (N.W. Simmonds, ed.). Longman Group Ltd., London. 339 pp.
- Guarino, L., V. Ramanatha Rao and R. Reid (eds.). 1995. *Collecting Plant Genetic Diversity - Technical Guidelines*. CAB International, Wallingford, Oxon, U.K. 748 pp.
- Hernández-X., E., y A. Ramos-R. 1981. Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología tradicional. Pp: 321-333 En: *Agroecosistemas de México: Contribuciones a la Enseñanza, Investigación y Divulgación Agrícola* (E. Hernández-X. ed.). 2da. Edición. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Higbee, E.C. 1945. The river is the plow. *Scientific Monthly* 60: 405-416.
- IPGRI. 1982. *Descriptores para Maní*. Internacional Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia. 115 pp.

- Krapovickas, A. 1968. Origen, variabilidad y difusión del maní (*Arachis hypogaea*). Actas y Memorias del XXXVII Congreso Internacional de Americanistas 2:517-534. Traducción al inglés (1969), In: Ucko PJ and Dimbleby GW, editors. The Domestication and Exploitation of Plants and Animals. Duckworth, England, pp. 427-441.
- Krapovickas, A. y W.C. Gregory. 1994. Taxonomía del género *Arachis* (*Leguminosae*). Bonplandia 8 (1-4): 1-186.
- Krapovickas, A. 1995. Origen y dispersión de las variedades de maní. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (Argentina) 49(12): 18-26.
- Mori Castro, J.A. 2003. Análisis de la Diversidad Intraespecífica del Maní (*Arachis hypogaea* L.) en las Cuencas del Río Aguaytía y Río Ucayali, en la Región Ucayali, Perú. Tesis M.C., Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú. 200 pp.
- Pearsall, D.M. 1992. The origins of plant cultivation in South America. In: Cowan CW and Watson PJ, editors. The Origins of Agriculture, an International Perspective. Smithsonian Institution Press, Washington and London, pp. 173-205.
- Roque, J., A. Cano y A. Cook. 2003. Restos vegetales del sitio arqueológico Casa Vieja, Callango (Ica). Revista Peruana de Biología (Perú) 10: 33-43.
- Simpson, C.E. and Higgins, D.L. 1984. Catalog of *Arachis* Germplasm Collections in South America, 1976-1983. The Texas Agricultural Experiment Station and International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy. 79 pp.
- Simpson, C.E. 1984. Plant exploration: Planning, organization, and implementation with special emphasis on *Arachis*. In: Conservation of Crop Germplasm – An International Perspective. Crop Science Society of America, Madison, WI, USA, Pp. 1-20.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1995. United States Peanut Descriptors (Pittman RN, editor) Agricultural Research Service 132. USDA-ARS, Griffin, Georgia, USA. 18 pp.
- Williams, D.E. 1989. Exploration of Amazonian Bolivia yields rare peanut landraces. Diversity 5(4): 12-13.
- Williams, D.E. 1991. Peanuts and Peanut Farmers of the Rio Beni: Traditional Crop Genetic Resource Management in the Bolivian Amazon. Ph.D. dissertation. City University of New York. University Microfilms International, Ann Arbor, Michigan, USA. 170 pp
- Williams, D.E. 1996. Aboriginal farming systems provide clues to peanut evolution. In: Pickersgill B and Lock JM, editors. Advances in Legume Systematics 8: Legumes of Economic Importance. Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 11-17.



## **Análisis de la diversidad dentro y entre especies de *Capsicum*: opciones para estimar la variación interpoblacional**

**José Luis Chávez Servia**

Bioersity International (antes, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI), Oficina Regional para las Américas, c/o CIAT. A.A. 6713 Cali, Colombia. (Dirección actual: CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, Hornos #1003 Col. Nochebuena, C.P. 71230 Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. Email: jchavezservia@yahoo.com).

### **Introducción**

El sistema actual de clasificación taxonómica de *Capsicum* diferencia a las especies principalmente por la morfología floral. Tres de las especies (*C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens*) conforman un complejo morfológico de sobreposición de caracteres provenientes de una base ancestral común de genes (Pickersgill *et al.*, 1979). Hasta ahora, estas tres especies se separan morfológicamente por caracteres como flores solitarias de color blanco cremoso (*C. annuum*), dos o tres flores por nudo verde-blanquecinos y con una constricción en la base del cáliz en unión con el pedicelo (*C. chinense*) o bien más de una flor erecta blanco-verdosa y sin constricción de cáliz (*C. frutescens*). Las otras especies cultivadas son relativamente fáciles de distinguir: *C. baccatum* tiene flores blancas con manchas verde-amarillosas en los lóbulos de la garganta y el *C. pubescens* se diferencia por su corola morada, excepcionalmente blanca y semillas negro-rugosas.

En los campos de los agricultores, en varios casos, se desarrolla un sinergismo entre las especies cultivadas y sus parientes silvestres. Por ejemplo, en México, desde Sonora hasta la península de Yucatán, las especies cultivadas de *C. annuum* “conviven” cercanamente con las silvestres *C. annuum* var. *aviculare* (Pickersgill, 1979; Tewksbury *et al.*, 1999). De la misma manera, se encuentra el *C. baccatum* cultivado y el pariente cercano *C. baccatum* var. *baccatum* en Perú y Bolivia (Eshbaugh, 1976 y 1980). En el caso de *C. chinense* y su hipotético silvestre *C. frutescens* (Eshbaugh, 1976), la situación es más complicada porque es difícil distinguir la diferencia real, si es que existe, de las especies cultivadas y silvestres.

El segundo nivel de diversidad, objeto de este escrito, es el que se genera dentro de cada especie tomando como base el complejo *C. annuum-chinense*. Los reportes escritos de la selva amazónica peruana indican la presencia de este complejo (Bergman, 1980; Padoch y de Jong, 1991; Collado, 2002). En este sentido, el objetivo de este escrito es establecer las características esenciales de diferenciación de las especies y proponer un procedimiento metodológico para determinar la variación inter e intra-específica del *Capsicum* para la región de Ucayali, Perú.

### **Variación inter-específica de *Capsicum***

En la actualidad, existe un alto número de publicaciones que detallan las características esenciales de las especies cultivadas y silvestres del género *Capsicum*. Aquí, presentaremos una sucinta revisión de los caracteres en los cuales se basa la clasificación de las especies de ají o chile, con especial énfasis en las que se encuentran en la Amazonía peruana.

Perú es uno de los centros de origen y diversificación de gran cantidad de especies. El *Capsicum* tiene aquí uno de sus centros de origen. La revisión que hace Pickersgill (1969) indica que en el Pre-cerámico Tardío (2800 AC a 1800 AC) en las excavaciones de Huaca Prieta se encontró *C. baccatum* var. *pendulum* y var. *baccatum* ambos con cáliz, y también se identificaron restos de *C. baccatum* en la Costa Central (Punta Grande), pero poco preservados, de tal forma que no se logró distinguir a qué variedad botánica pertenecían. En el período Horizonte Temprano (1200 AC a 150 DC), se diseminó el uso de la cerámica de la cultura Chavin que tuvo su influencia

hasta el Kotosh (Huánuco), un departamento vecino de Ucayali (Izumi *et al.*, 1972). Del *Capsicum chinense*, asignado su origen a la región amazónica brasileña, no se descarta que también tenga su origen en la Amazonía peruana. Las excavaciones de Yarinacocha, cerca de Pucallpa, Ucayali, demostraron que los antiguos pobladores fueron sedentarios practicando la agricultura y haciendo uso de las vasijas para guardar las semillas (Lathrap, 1958). Con todo esto, se infiere que en el último siglo la diversificación de *Capsicum* en la Amazonía Central de Perú ha tenido y tiene una reserva genética de gran importancia, la que ha dado origen a las variedades locales muy populares en la región.

La taxonomía numérica es una herramienta de gran utilidad para distinguir la diferenciación de las especies y en el caso del género *Capsicum*, no es la excepción (Jensen *et al.*, 1979). Una especie botánica es un conjunto de individuos que comparten una reserva genética en común y que tienen la capacidad de cruzarse entre sí, pero no con individuos de otras especies. Es decir, existen barreras reproductivas o de aislamiento que han permitido a las especies evolucionar de manera independiente. Este concepto no puede ser aplicado en un sentido estricto para las especies *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* porque existe esa posibilidad de cruzamiento entre ellas (Pickersgill, 1971; Zijlstra *et al.*, 1991). La presencia de híbridos inter-genéricos entre dos especies hace difícil su ubicación taxonómica. Para resolver este problema, McLeod *et al.* (1979) proponen usar la denominación **complejo de flores blancas** para aquellas poblaciones que presenten las características de *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens*. En el Cuadro 1, se hace un resumen de las características que distinguen a *C. annuum* y *C. chinense*.

**Cuadro 1.** Caracteres esenciales que distinguen la diversidad inter-específica de *Capsicum chinense* Jacq. y *C. annuum* L.

Especie	Color de corola	Color de anteras	Cáliz dentado	Flores/nudo	Orientación del pedicelo
<i>C. annuum</i> L.	Blanca, grande	Púrpura-azul-verdosas	Presente con venas	1	Erecto a pendiente
<i>C. annuum</i> var. <i>aviculare</i> (Dierb.) D. & E.	Blanca, pequeña	Azul-verdosas	Ausente con venas	1-3	Erecto y con dehiscencia del fruto
<i>C. chinense</i> Jacq.	Blanca tenue, crema o verdosa	Azules o moradas	Ausente con constricción anular en unión con el fruto	2-3 (excepción 5)	Usualmente pendiente

***Capsicum chinense* Jacq.** Posee dos o más flores por nudo (ocasionalmente solitarias), las excepciones son cuatro o cinco. El pedicelo es erecto o declinante a la antesis, la corola es verde-blanquecina (algunas ocasiones blanco cremosa o púrpura), pero sin manchas en la base de los lóbulos, los que son generalmente rectos. El cáliz de los frutos maduros presenta una constricción anular en la unión con el pedicelo, y las venas no se prolongan hacia los dientes como en *C. annuum*. Las semillas son de color amarillo-pálido. La planta presenta tallos múltiples y erectos. Las hojas son pálidas a verde claro de forma ovada y regularmente alargadas. Las hojas presentan generalmente una superficie rugosa, característica de la especie. Los frutos varían en forma y tamaño desde pequeños y redondos (8 mm de diámetro) hasta rugosos y alargados alcanzando 12 cm (Smith y Heiser, 1957; IBPGR, 1983).

***Capsicum annuum* L.** Las flores son solitarias en cada nudo (ocasionalmente fasciculadas). Los pedicelos generalmente declinan al momento de la antesis. La corola es blanco cremosa (excepcionalmente púrpura) sin manchas difusas en la base de los lóbulos los cuales son rectos. Las diferencias con el *C. chinense* son: el cáliz, al madurar el fruto, carece de la constricción anular en la unión con el pedicelo y las venas se prolongan hacia los dientes cortos. La semilla es

de color amarillo-pálido. Las formas y tamaños del fruto varían ampliamente dando origen a más de 20 variedades botánicas (p. ej. var. *aviculare*, *annuum*, *conicum*, *grossum*, *leuocarpum*, *anomalum*, *cerasiforme*, *minimum*, *microcarpum*, *cordiforme*, *acuminatum*, *violaceum* y otras).

### **Variación intra-específica de *Capsicum***

La variación dentro de una especie se explica por las diferencias que existen entre las poblaciones o grupos de individuos que la componen. Weir (1990) y Weir y Cockerham (1984) señalan que las diferencias morfológicas o genéticas entre las poblaciones son iguales, en su conjunto, a la variación total de una especie. La generalización implica que si el número de muestras poblacionales descritas fuera infinito, se obtendría un estimador de la variación genética total de la especie. Sin embargo, esto no es posible en términos operacionales ya que sólo se describen las diferencias existentes entre un conjunto de muestras representativas de las poblaciones de un área geográfica y los estimadores sólo pueden hacer inferencias sobre la variación genética de la especie en el área de donde provienen las muestras.

La diversidad intra-específica de *Capsicum* en una región determinada puede obtenerse a través de la cuantificación de la variación entre las poblaciones que la componen. Por ejemplo, *C. annum* y *C. chinense* son dos especies que conservan los productores en sus terrenos de cultivo o cercanos a ellos como parte de la diversidad presente en la Amazonía Central de Perú. Por lo tanto, la estimación de la variación intra-específica de *Capsicum* en la región de Ucayali es igual a la variación entre las variedades locales o poblaciones de *C. chinense* (Charapita o Charapa, Picante, Limo y Panca) más la variación de las respectivas poblaciones de *C. annum* (Pinchito de Mono, Dulce y Pucomucho). Con la misma información, puede obtenerse un estimador de las diferencias entre las especies (variación inter-específica).

Para obtener estimaciones robustas de la variación entre y dentro de las especies, es conveniente que la descripción se realice sobre un tamaño de muestra representativo de las poblaciones cultivadas. Las estrategias comunes para obtener algunos estimadores de la divergencia entre poblaciones o especies son la caracterización morfológica o bioquímica-molecular de las muestras a fin de obtener datos que permitan hacer una generalización consecuentemente apropiada acerca de las diferencias entre las poblaciones, esto es la variación dentro y entre las especies. La caracterización morfológica puede tener lugar *in situ*, en campos de agricultores o en un campo experimental.

### **Obtención de información y análisis propuestos**

#### **Tamaños de muestra de las variedades o poblaciones locales.**

Los trabajos de Ewens (1982), Marshall y Brown (1975), Crossa (1989), Brown y Schoen (1994), Brown y Marshall (1995), Yonezawa (2000) y otros más, son útiles para definir un tamaño de muestra (número de individuos por población) que permita hacer las inferencias apropiadas. En las comunidades del Amazonas Central de Perú, las poblaciones de ají o chile se mantienen siempre en frecuencias bajas. Es decir, generalmente en una comunidad se preserva un bajo número de individuos por población o variedad local, y las excepciones son los cultivos en forma semicomercial.

Por ejemplo, supongamos que existe un máximo de 150 hogares en una comunidad y pensemos que esas familias mantienen entre 1 y 5 plantas de la variedad local. Entonces, se puede pensar que una comunidad podría mantener o preservar una población pequeña de 150 a 750 individuos de la variedad local. Esto es cuando la población o morfotipo local es común; pero en contraposición, cuando el morfotipo es raro, entonces se prevé encontrar al menos una planta (un genotipo). En este contexto, cuando la cantidad de semilla o plantas de una población diploide

es pequeña ( $2N$  gametos), se asume que sigue una distribución hipergeométrica (Crossa, 1989). Entonces, al tomar una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , se hace sin reemplazo. Por lo tanto, para obtener un genotipo deseable ( $G_d$ , representativo de la variabilidad presente) de una población finita ( $G$ ) con  $G_i$  genotipos no deseables, se calcula la diferencia entre  $G$  y  $G_i$  ( $G_d = G - G_i$ ). Así, la probabilidad de obtener  $k$  genotipos deseables en la muestra de tamaño  $n$  es (Crossa, 1989):

$$P(k) = 1 - \frac{\binom{G_i}{n}}{\binom{G}{n}} = 1 - \frac{G_i!(G-n)!}{G!(G_i-n)!}$$

Entonces, en una comunidad que mantiene aproximadamente 150 individuos de una población ( $G$ ) de ají (chile) que tiene una frecuencia de 0.05 de ocurrencia del genotipo deseable, sustituyendo valores en la ecuación anterior y resolviendo, resulta que se necesita incluir dentro de la muestra a 10 individuos para que esté incluido por lo menos uno de los deseables con una probabilidad del 99%.

Otro procedimiento es la utilización de la fórmula del número efectivo de alelos que permite comparar la distribución de las frecuencias alélicas por el efecto de la heterocigosidad bajo apareamiento aleatorio. Esto es la diversidad genética de Nei. El concepto análogo aplicado tanto al número efectivo de variedades locales ( $n$ ) en una comunidad, valle o región, como al mismo número de variedades locales frecuentes que tienen la misma probabilidad de coancestría idéntica, cuando dos genes tomados al azar del área son comparados y provienen de la misma variedad local.

$$n = 1 / [\sum p_i^2]$$

donde  $p_i$  es la frecuencia de la  $i$ -ésima variedad local en el área. Esta medida está estrechamente relacionada con los valores de diversidad ponderada ( $d_w$ ), en donde la fórmula asume que las variedades locales no están relacionadas. Las ponderaciones se realizan con base en las frecuencias de cada variedad local en el área. En la propuesta, se incorpora la matriz de coeficientes de parentesco entre todas las variedades locales para hacer un ajuste por la coancestría. Por lo tanto, la fórmula anterior se puede transformar en:

$$n = 1/(1 - d_w), \text{ o bien } n = 1/1 - F_{ST}$$

donde  $F_{ST}$  es el índice de fijación de Wright o el grado de diferenciación genética entre las subpoblaciones.

### Quantificación de la variación morfo-genotípica *in situ*

Basándose en la teoría clásica de la **heredabilidad en el sentido restringido** ( $h^2$ ) estimada a partir de la regresión progenie-progenitor, es posible obtener la variación o varianza genética de las variedades locales cultivadas. Para ello, recurriremos a algunas definiciones de valor fenotípico de la genética de poblaciones y cuantitativa.

El valor fenotípico ( $V_F$ ) de una población o variedad local se puede expresar en función de su variación genotípica ( $V_G$ ), la variación ambiental ( $V_A$ ) y la interacción genético-ambiental ( $V_{G \times E}$ ). De manera natural, se puede expresar el modelo biológico siguiente:

$$V_F = V_G + V_E + V_{G \times E} = \sigma_F^2$$

Por otro lado, los genotipos de una población se manejan a través de sus correspondientes fenotipos, en los que se basa el agricultor para hacer su manejo. Por lo que la analogía que hay que hacer es determinar el valor de cambio del valor genotípico en función del valor de cambio del

valor fenotípico (Falconer y Mackay, 1996). Es decir, los agricultores seleccionan un grupo de plantas como progenitores para realizar su siguiente siembra. Esto produce un cambio en el valor genotípico de la población, el que se puede medir a través del **coeficiente de regresión del valor genotípico sobre el valor fenotípico** ( $b_{G,F}$ ). Cuando no es posible separar el efecto o valor del ambiente de la interacción genotipo-ambiente, se establece la igualdad

$$V_E + V_{G \times E} = V_E = E = E + G \times E$$

y además el valor genotípico se desglosa como:

$$V_G = V_A + V_D + V_I \text{ ó } G = A + D + I$$

( $V_A = A$ , valor genotípico aditivo;  $V_D = D$ , desviación de dominancia; y  $V_I = I$ , la desviación epistática). En forma análoga, se define al valor fenotípico como

$$V_F = V_A + V_D + V_I + V_E = A + D + I + E$$

Así, en expresiones algebraicas, el coeficiente de regresión  $b_{G,F}$  es:

$$b_{G,F} = \text{Cov}(G, F) / \sigma_F^2 = \text{Cov}(G, G + E) / \sigma_F^2 \text{ o bien}$$

$$b_{G,F} = \text{Cov}(A + D + I, A + D + I + E) / \sigma_F^2$$

y es de interés la regresión de valor genotípico aditivo (A) --efecto genético acumulativo-- sobre el valor fenotípico, entonces se tiene que

$$b_{A,F} = \text{Cov}(A, A + D + I + E) / \sigma_F^2; \text{Cov}(A, D) = \text{Cov}(A, I) = \text{Cov}(A, E) = 0$$

$$b_{A,F} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2}$$

Es decir, una de las expresiones para estimar la heredabilidad en sentido restringido ( $h^2$ )

$$b_{A,F} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} = h^2$$

A partir de esta expresión, se puede estimar el valor genotípico aditivo ( $\sigma_A^2$ ) de la población o variedad local bajo estudio mediante la regresión progenie-progenitor. Ahora bien, una homologación de la expresión anterior la podemos adaptar a las poblaciones conservadas *in situ* con información de los progenitores (**P**) generada durante la evaluación de sus caracteres fenotípicos en las plantas bajo cultivo y, posteriormente, repetir la evaluación en su progenie (**P'**) sin perder la identificación P-P' y etiquetar bien la genealogía. De esta manera, se formarán parejas de datos conformadas con el valor fenotípico del progenitor ( $X_i$ ) y de la progenie ( $Y_i$ ). Entonces, es posible obtener la covarianza de los pares de valores progenitor-progenie y la varianza de los valores fenotípicos de los progenitores. Esto es:

Progenitor ( $X_i$ ):  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$ , valor fenotípico del progenitor

Progenie ( $Y_i$ ):  $Y_1 = X_1 X_2, Y_2 = X_2 X_4, \dots, Y_n = X_{n-1} X_n$ , valor fenotípico de la progenie, entonces:

$$\text{Cov}(X_i, Y_i) = \left[ \sum_i X_i Y_i - \frac{(\sum_i X_i)(\sum_i Y_i)}{n} \right] / (n-1), \text{ covarianza progenitor-progenie y}$$

$$\sigma_x^2 = \left[ \sum_i X_i^2 - \frac{(\sum_i X_i)^2}{n} \right] / (n - 1), \text{ varianza fenotípica de los progenitores}$$

$$b_{Y/X} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma_x^2} = \frac{1/2 \sigma_A^2}{\sigma_F^2} = \frac{1}{2} h^2$$

De esta última expresión, son estimables la varianza fenotípica de los progenitores ( $\sigma_F^2$ ), el coeficiente de regresión progenie–progenitor ( $b_{Y/X}$ ), y con álgebra simple se obtiene la varianza o valor aditivo genotípico ( $\sigma_A^2$ ), un estimador de la variabilidad genética-aditiva de la población en la característica bajo estudio.

$$\sigma_A^2 = 2 b_{Y/X} \sigma_F^2$$

Es oportuno mencionar que este desarrollo se ha generado exclusivamente para poblaciones de polinización cruzada, y en el caso de autógamias y de reproducción asexual, el procedimiento es similar sólo que en la primera, se debe tomar en cuenta la endogamia de la generación progenitora (autógamas); y en la segunda (asexuales), considerar que la varianza genética estimada es igual a la varianza aditiva.

La pregunta que tendría el investigador es: ¿cuántos casos (individuos) por variedad o población local debe considerar? Cleveland *et al.* (2000) utilizaron de 10 a 15 plantas por población de maíz. No obstante, se pueden seguir las recomendaciones de tamaños de muestra de 30 a 40 individuos progenitores, como recomiendan Marshall y Brown (1975) y Crossa (1989), para obtener un tamaño de muestra representativo de las especies de polinización cruzada.

### **Caracterización en el campo del agricultor o estación experimental mediante un diseño**

Un procedimiento ampliamente difundido es la descripción, cuantificación y clasificación de la diversidad morfológica de las poblaciones cultivadas a través de una siembra de las muestras para su caracterización morfológica. Los lugares pueden ser el campo del agricultor o un ambiente externo (p. ej. estación experimental u otro campo de cultivo alejado del de origen). Para conducir un ensayo descriptivo de este tipo, se recomienda seguir los principios de un diseño experimental, y es deseable conducirlo en más de una localidad con el objeto de eliminar o extraer el efecto ambiental. Se recomienda revisar a Steel y Torrie (1982), Snedecor y Cochran (1989) e IPGRI (2001) acerca de la modalidad del experimento que se puede diseñar de acuerdo con el número de muestras implicadas. Los diseños látices o bloques incompletos simples, dobles, rectangulares o cúbicos son los más utilizados porque permiten caracterizar un gran número de muestras poblacionales (25, 49, 100, 144, 400, 625 o más). Adicionalmente, en el mismo experimento se podrían evaluar preliminarmente características agronómicas o relacionadas con el rendimiento económico. Con fines de estandarización de los caracteres evaluados, se recomienda seguir las guías o descriptores para *Capsicum* establecidos por IPGRI, AVRDC y CATIE (1995).

### **Componentes de varianza para estimar la variación intra-específica**

Este procedimiento se basa en el uso de los modelos lineales ampliamente utilizados en la investigación agronómica como es la comparación del comportamiento de las variedades bajo un diseño experimental repetido en más de una localidad. El análisis de varianza (ANAVA) es útil para obtener un estimador de la variación genética, ambiental y su interacción, por ejemplo, mediante el método de momentos o bien a través de la descomposición de la varianza total en sus componentes. En su forma más simple, se interpreta como un sistema de ecuaciones donde en el

lado izquierdo de la igualdad son las esperanzas de los cuadrados medios provenientes del ANAVA y en el lado derecho los cuadrados medios observados. Considerando que los componentes de varianza son las incógnitas, la solución a este sistema de ecuaciones produce los estimadores de la varianza genotípica, ambiental y de la interacción. Además, si estos componentes se descomponen en la variación debida a las variedades locales o grupos de variedades; entonces, podrá estimarse la varianza genotípica entidad; y por la hipótesis implícita específica en el ANAVA, se pueden determinar las diferencias genotípicas respectivas (Cuadro 2).

En el Cuadro 2, se presenta un ejemplo de la caracterización y/o evaluación preliminar de **C** muestras de ají (chile), 11 de *C. annuum* y 3 de *C. chinense*, establecidas en **A** ambientes bajo un diseño simple de bloques (**B**) completos al azar. Bajo este diseño, los bloques se encuentran anidados en ambientes (**B/A**) y el efecto **C** es fijo. La suma de cuadrados total de poblaciones o variedades locales de ají se desglosa en la esperanza de los cuadrados medios [E(CM)] de *C. annuum* y *C. chinense*, respectivamente. La solución al sistema de ecuaciones se obtuvo por el método de momentos y la diferencia entre las varianzas genotípicas dentro de cada especie se obtiene a través de la hipótesis respectiva (H<sub>0</sub>).

F.V.	GL	SC	E(CM)	Ho: $\sigma_{FV}^2 = 0$
A	a-1	C1	$\sigma_e^2 + c \sigma_{r(a)}^2 + r \sigma_l^2$	C1/C2
B/A	(r-1)a	C2	$\sigma_e^2 + c \sigma_{r(a)}^2$	C2/M3
C	c-1	M1	$\sigma_e^2 + r \sigma_{ca}^2 + \left(\frac{ra}{c-1}\right) \sum_i^a (C_i - \bar{C})^2$	M1/M2
<i>C. annuum</i>	11-1	M1m	$\sigma_e^2 + r \sigma_{ca}^2 + \left(\frac{ra}{c-1}\right) \sum_i^a (C_i - \bar{C})^2$	M1m/M2
<i>C. chinense</i>	3-1	M1a	$\sigma_e^2 + r \sigma_{ca}^2 + \left(\frac{ra}{c-1}\right) \sum_i^a (C_i - \bar{C})^2$	M1a/M2
CA	(c-1)(a-1)	M2	$\sigma_e^2 + r \sigma_{ca}^2$	M2/M3
$\varepsilon$	(c-1)(r-1)a	M3	$\sigma_e^2 \dots \dots \left[ \sigma_e^2 = \sigma_{ij(k)}^2 \right]$	

Notas: F.V. = fuente de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; E(CM)= esperanzas de cuadrados medios; Ho= prueba de hipótesis para homogeneidad de varianzas genotípicas (solución del sistema de ecuaciones); A= ambientes; B/A= efecto de bloques anidados en ambientes o localidades; C= poblaciones o variedades locales desglosadas en *C. annuum* y *C. chinense*, 11 y 3 en el ejemplo.

**Cuadro 2.** Análisis de varianza de un modelo mixto con dos factores y su interacción. El efecto **C**, población muestreada (p. ej. 11 de *C. annuum* y 3 de *C. chinense*), es fijo.

### Cuantificación de la variación bioquímica-molecular

Los procedimientos ampliamente utilizados son el análisis isoenzimático (enzimas de hojas, cotiledones o semillas) o basados en ADN (RFLP's, AFPL's, RAPD's, microsatélites, SSR y otros). Para la revisión de algunos protocolos sobre isoenzimas en ají, se recomienda revisar las propuestas de McLeod *et al.* (1979), Jensen *et al.* (1979), Loaiza *et al.* (1989), Hernández *et al.* (2001) y otras más. En RFLP's consultar los trabajos de Prince *et al.* (1992 y 1995), RAPD's en Rodríguez *et al.* (1999), y para co-localizar caracteres cuantitativos (QTL's), a Pflieger *et al.* (2001).

A través de las frecuencias alélicas y presencias o ausencias de bandas resultantes de los análisis bioquímicos moleculares, los parámetros que se deben obtener son la diversidad total ( $F_{IT}$ ), intra-específica ( $F_{ST}$ ) e inter-específica ( $F_{IS}$ ) o bien mediante las F-estadísticas de Wright.

Los estimadores más comunes son: riqueza alélica, porcentaje de loci polimórficos, coeficiente de diversidad de Nei observado ( $H_o$ ) y esperado ( $H_e$ ) ( $h=1-\sum p_i$ ), índice de fijación ( $F= 1-H/h$ ), donde  $H$  es heterocigosidad promedio, y desequilibrio Hardy-Weinberg ( $D$ ), en función de la hipótesis que se desea probar.

### **Análisis estadístico descriptivo, de ordenación y clasificación de datos morfológicos**

Los métodos multivariados de mayor difusión para describir y clasificar la variabilidad morfológica son: el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados (*cluster*) de agrupamiento jerárquico (AC). Aquí, se hace hincapié solamente en los lineamientos generales, en la preparación de la información por analizar y en los criterios básicos a seguir en estos dos métodos.

**Análisis de componentes principales (ACP).** Es uno de los procedimientos más frecuentes en las caracterizaciones morfológicas y también una de las metodologías multivariadas más difundidas desde su planteamiento por Karl Pearson en 1901; aunque su uso posterior fue generalizado por Hottelling. El propósito fundamental del ACP es reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos dentro de una nueva combinación lineal de nuevas variables (o componentes principales) con la capacidad de retener toda la variabilidad de las variables originales (Jolliffe, 1972 y 1973). En la práctica de la caracterización, el ACP re-ordena a las poblaciones en términos de una combinación de nuevas variables o componentes principales no correlacionados. Las dos formas comunes de obtener este análisis es partiendo de una matriz de datos estandarizados o bien sin estandarizar denominados en términos estadísticos como un ACP, a partir de la matriz de correlación o bien a partir de la matriz de varianzas y covarianzas, respectivamente (Mardia *et al.*, 1979; Johnson y Wichern, 1982; Anderson, 1984). Las matrices de la mayoría de caracterizaciones morfológicas se forman mediante la utilización de diversos caracteres con diferentes escalas de medida, por lo que es recomendable el cálculo de los componentes principales utilizando la matriz de datos estandarizados, también conocida como la matriz de correlación de las variables originales, y cuando se utilizan exclusivamente variables cuantitativas, el ACP debe obtenerse con base en la matriz de varianzas y covarianzas.

En un ensayo de caracterización, se obtiene la descripción de una serie de poblaciones o accesiones mediante una serie de variables medidas en diferentes escalas con el propósito de cuantificar la variabilidad morfológica o genética en la colección. Por lo que el ACP puede, por un lado, reducir la dimensionalidad a nuevas combinaciones lineales o componentes principales, capaces de captar la mayor variabilidad de las variables originales, y por otro, también ayuda a reducir el número de variables originales que no aportan suficiente variabilidad o es insignificante su aporte para describir la varianza total de las colecciones (Jolliffe, 1972 y 1973; McCabe, 1984). En términos estadísticos simples, el ACP puede denominarse como un método descriptivo de ordenación.

Las preguntas usuales en el ACP son: ¿Cuáles son los criterios para descartar ciertas variables en el análisis? y ¿Cuántos componentes principales deben retenerse? Estas preguntas se contestan de acuerdo con la singularidad del ACP, el cual implica reducir la dimensionalidad del problema y reducir el número de variables (= reducir el número de componentes).

Esencialmente, son dos los criterios que se utilizan para disminuir el número de variables a incluir en el ACP. Una fase tiene que ver con la inspección previa de los datos originales, y se refiere a que no se incluyan variables invariantes; es decir, que no presenten variabilidad entre las poblaciones evaluadas. No se deben incluir variables con alta correlación ( $> 0.7$ ) o, en otras palabras, el investigador debe decidir entre las variables altamente correlacionadas, cuál es la de mayor variabilidad y aportación descriptiva en función de su desviación estándar o varianza. Este caso llega a ser crítico cuando las correlaciones superan el 0.9, debido a que es uno de los supuestos a satisfacer dentro del ACP (Mardia *et al.*, 1979; Johnson y Wichern, 1982; Anderson,

1984). Para efectuar esta operación, se requiere un análisis de correlación entre las variables originales y, posteriormente, tomar las decisiones más adecuadas.

Una segunda fase del ACP tiene que ver directamente con los métodos propuestos para descartar variables. Al respecto, se destacan las propuestas de Jolliffe (1972 y 1973) y McCabe (1984). Jolliffe (1972) propone cuatro metodologías, pero esencialmente es un análisis iterativo de CP. Las primeras dos son las más utilizadas. La primera se enfoca en los últimos componentes principales asociados con un valor propio ( $\lambda$ ) menor a 0.7 y, posteriormente, se revisa el vector propio con el valor propio de menor magnitud. Entonces, se identifican las variables que presenten los mayores coeficientes (en valor absoluto), las cuales son descartadas y así sucesivamente. El criterio de discriminación de variables es un tanto arbitrario o a juicio del investigador, aún así tiene un efecto favorable cuando se cuida que se retengan las variables que hacen mayores aportes en los primeros componentes principales. El segundo procedimiento es similar, pero sólo se efectúa un ACP. Las variables descartadas se basan en el mismo principio, aunque a partir de un determinado porcentaje ( $\alpha$ ) de la variación total por cierto número de componentes principales, por lo general  $\alpha = 80\%$ .

Los cuatro métodos de McCabe (1984) se basan en la varianza retenida y se requiere de cierto conocimiento estadístico y capacidad computacional. Los criterios utilizados se basan en la optimización de los componentes principales para la selección de variables y no tienen una solución única. La selección de variables se basa en las soluciones siguientes:

- |   |
|---|
| <p>i) <math>\max  \Sigma_{11}  = \min  \Sigma_{22 \cdot 1} </math>; maximizar la varianza de la matriz de covarianza de las variables originales es igual a minimizar la varianza de las covarianzas de las variables no seleccionadas dadas las seleccionadas. <math>\Sigma_{11}</math>; matriz de covarianzas de las variables seleccionadas.</p> <p>ii) <math>\min \text{Tr}(\Sigma_{22 \cdot 1})</math>; minimizar la traza de la matriz de covarianzas de las variables no seleccionadas dadas las seleccionadas.</p> <p>iii) <math>\min \ \Sigma_{22 \cdot 1}\ _2</math>; minimizar la suma de cuadrados de la matriz <math>\Sigma_{22 \cdot 1}</math></p> <p>iv) <math>\max \sum_{i=1}^m \rho_i^2</math>; maximizar los coeficientes de determinación de las correlaciones canónicas entre las variables seleccionadas y las no seleccionadas.</p> |
|---|

Con base en estas soluciones, McCabe (1984) describe de diez a doce criterios: el primer criterio (i) equivale a maximizar la varianza que puede ser acumulada por un grupo de variables seleccionadas o bien equivale a sumar los  $k$  valores propios de mayor magnitud de la matriz de covarianzas ( $\Sigma_{11}$ ), o bien maximizar la traza de la matriz ( $\Sigma_{11}$ ). El segundo criterio (ii) puede expresarse en función del producto de los  $k$  valores propios más grandes de la matriz de varianzas y covarianzas o en otras palabras el máximo determinante de la matriz  $\Sigma_{11}$ . Para el (iii) y (iv), se fundamenta en la suposición de dos vectores, uno de dimensión  $k$  ( $X_1$ ) con las variables retenidas y otro de dimensión  $p-k$  ( $X_2$ ) con las variables descartadas, ambos con distribución independiente e idénticamente distribuidos en la dimensión  $X$ . Por lo tanto, puede obtenerse la máxima esperanza de la transformación lineal de los dos vectores en un sentido y en otro, mediante el doble de la suma de los valores propios respectivos. De esta forma, se han originado los diversos criterios y, para más detalles, se sugiere consultar a McCabe (1984).

La respuesta a la segunda pregunta, ¿Cuántos componentes principales deben retenerse?, es objeto de controversia pero pueden señalarse algunos criterios. La forma más común es fijar niveles críticos de manera subjetiva: 1) Retener los primeros componentes principales que son capaces de explicar el 80% o más de la variabilidad total o bien 2) Seleccionar exclusivamente aquellos componentes principales con un valor propio o característico mayor que 1 (Mardia *et al.*, 1979). 3) Otro criterio consiste en incluir el número de componentes principales cuyos valores propios sean superiores al promedio (Pla, 1986).

**Análisis de conglomerados** (AC, *cluster analysis*). Es también otra de las técnicas ampliamente difundidas. Los procedimientos aglomerativos o de formación de grupos son discutidos con mayor profundidad en diversos textos (Anderberg, 1973; Mardia *et al.*, 1979; Romesburg, 1984; Afifi y Clark, 1990). Por lo tanto, en este apartado se dedicará un pequeño espacio para exponer algunas pautas a seguir para responder a la pregunta de cómo verificar la estabilidad y validez de los grupos resultantes del análisis de conglomerados, misma que a su vez está intrínsecamente ligada a la pregunta de dónde hacer el corte en el dendrograma resultante del AC.

Como primera anotación, se recuerda que uno de los requisitos del AC es partir de la estimación de una matriz de proximidades (similaridad o disimilaridad) entre las colectas o accesiones caracterizadas. Las medidas de similaridad son conocidas comúnmente como medidas de asociación y entre ellas se destacan la correlación (Spearman o Pearson), el coseno del ángulo entre dos accesiones y la asociación general de Gower. Pero indistintamente, la asociación ( $S_{ij}$ ) entre la accesión  $i$ -ésima y  $j$ -ésima debe satisfacer las condiciones siguientes:

- a)  $0 \leq S_{ij} \leq 1$  para toda  $i$  y  $j$
- b)  $S_{ii} = 1$  para toda  $i$
- c)  $S_{ij} = 1$  si y solo si  $i = j$
- d)  $S_{ij} = S_{ji}$  para toda  $i$  y  $j$

Las medidas de disimilaridad (distancias) son quizás las más comunes en los análisis de conglomerados. En la práctica, se tiene un conjunto de  $X$  accesiones en las que se obtiene una distancia ( $D_{ij}$ ) entre dos puntos, poblaciones o variedades locales que cumplen cuatro condiciones.

- i)  $D_{ij} \geq 0$  para toda  $i$  y  $j$
- ii)  $D_{ii} = 0$  para toda  $i$
- iii)  $D_{ij} = D_{ji}$  para toda  $i$  y  $j$
- iv)  $D_{ik} + D_{kj} \geq D_{ij}$  para toda  $i, j$  y  $k$  en  $X$

Usualmente, son satisfechas las condiciones (i), (ii) y (iii), pero no siempre es posible el cumplimiento de (iv). Las medidas de disimilaridad más comunes se presentan en el Cuadro 3 con algunos comentarios sobre su uso.

Medida de proximidad	Comentario	Referencia
Distancia de Canberra (C)	Es muy sensible a cambios pequeños y es adecuada para datos binarios	Romesburg (1984)
Distancia Euclidiana (d)	La más generalizada, que no toma en cuenta la escala de medida. Es decir, es invariante a cambios de escala	Afifi y Clark (1990), Hamon y van Sloten (1989)
Distancia generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ )	Pondera el alejamiento (distancia) entre las accesiones mediante los elementos de la matriz de varianzas y covarianzas. En datos cuantitativos.	Rojas <i>et al.</i> (2000), Cherifi <i>et al.</i> (1993)
Coeficiente de correlación de Pearson (r)	Está limitado porque puede dar patrones de afinidad sin sentido cuando se utilizan las variables no descriptivas y también exagera la contribución de los altos valores	Rojas <i>et al.</i> (2000), Melchiorre (1992)
Complemento de la Correlación de Pearson (1-r)	Una medida de disimilaridad con la ventaja de aprovechar los limitantes de los coeficientes de asociación.	Sánchez y Goodman (1992), Chávez (1999)
Coeficiente de Jaccard (J)	Util para datos binarios y sensible a la dirección del código o escala (presencia 1 y ausencia 0)	Romesburg (1984)
Coeficiente de similitud de Gower (G)	Muy útil cuando los caracteres son una mezcla de atributos cualitativos y cuantitativos	Romesburg (1984)

**Cuadro 3.** Medidas de disimilaridad y similitud de uso frecuente para la construcción de dendrogramas de caracteres morfológicos.

La técnica de AC en su sentido simple es la clasificación de  $n$  objetos similares en diferentes categorías. El AC hace uso de diferentes métodos para la formación de agrupamientos y son clasificados como métodos aglomerativos jerárquicos y métodos no jerárquicos (Anderberg, 1973; Mardia *et al.*, 1979; Romesburg, 1984; Afifi y Clark, 1990). Los métodos jerárquicos conocidos están basados en la fórmula recurrente de Lance y Williams a partir de la cual se han originado las formas de agrupación siguientes:

- a) Enlace simple
- b) Enlace completo
- c) Media de grupo
- d) Media ponderada (UPGMA, acrónimo del inglés)
- e) Centroides
- f) Mediana
- g) Suma de cuadrados
- h) Mínima varianza o método de Ward

Los métodos de agrupamiento son siempre motivo de polémica cuando se pretende definir el más adecuado. Los métodos jerárquicos son únicamente descriptivos y no están basados en las probabilidades para la clasificación de individuos o accesiones dentro de los grupos, lo que en determinadas circunstancias llega a ser limitante. Al respecto, Franco *et al.* (1997a) realizaron una clasificación de accesiones mexicanas de maíz mediante una serie de métodos de agrupamiento, donde uno de los objetivos fue proponer un método de clasificación del germoplasma con propiedades estadísticas. Los métodos comparados fueron el (a), (e), (f) y (h) en combinación con los métodos no jerárquicos de densidades y de Normix (Wolfe, 1970). En este trabajo, se concluyó que una combinación del método de Normix (formación de grupos *a priori*) y una posterior clasificación con el método de Ward fue la estrategia más apropiada para formar cinco grupos de accesiones bien definidos y homogéneos. Una tendencia inversa encuentran Franco *et al.* (1997b)

para la clasificación de 29 razas de maíz. Los resultados muestran que la clasificación *a priori* mediante el método de Ward y la posterior aplicación de Normix mejoran la distancia de Mahalanobis entre los grupos, incrementan la variabilidad entre los grupos en relación a la variabilidad dentro de ellos y, por lo tanto, también se disminuye la variabilidad dentro de los grupos formados.

Los métodos no jerárquicos están basados en la clasificación *a priori* de las accesiones. Entre los más comunes, se encuentra el de **K**-medias, Normix y las funciones de densidades. En la literatura el método de **K**-medias se ha aplicado con una combinación del análisis de la función discriminante (Rojas *et al.*, 2000).

La gran pregunta que todo investigador se hace una vez realizado el AC es ¿cómo verificar y validar los agrupamientos resultantes? La respuesta tiene dos fundamentos: uno tiene que ver con la tendencia de las accesiones a agruparse, y otra con los criterios a utilizar para validar los grupos formados o de qué manera validar el ajuste del dendrograma.

En la literatura, se mencionan diferentes pruebas para determinar cómo es la tendencia de las accesiones a agruparse y el supuesto principal es que las observaciones (colectas de germoplasma) se distribuyen aleatoriamente en el espacio determinado por las **p** variables evaluadas. En caso contrario, ya existiría una evidencia de las accesiones a agruparse y, por lo tanto, no tendría valor la nueva imposición de agrupamientos mediante el AC. Las pruebas comunes se basan en la distribución Poisson y en la prueba de Wald-Wolfowitz. Para una descripción completa, se recomienda revisar los trabajos de Wolfe (1970), Diggle (1979), Milligan (1981), Smith y Jain (1984), Milligan y Cooper (1985), y Cressie (1993).

Comúnmente, los investigadores, mediante un paquete estadístico y una computadora, generan un dendrograma de salida con las poblaciones agrupadas en función de su proximidad (similaridad o disimilaridad) y hasta cierto punto hacen más sencillo su trabajo. La pregunta o preguntas clave en esos momentos son ¿cuántos grupos hay en los datos? y ¿dónde se debe hacer el corte en el dendrograma? Para propósitos prácticos, nos referiremos al paquete estadístico SAS (versión 6.10 o más avanzada), con el cual se obtienen algunos índices como la **R<sup>2</sup>** ( $R^2 > 0.8$ ), la **R<sup>2</sup> semiparcial**, la **pseudo F**, la **pseudo t<sup>2</sup>** y el **Criterio Cúbico de Agrupamiento (CCC)** que ayudan a establecer la validez y el nivel de corte en el dendrograma (SAS, 1996).

### **Observaciones finales**

En este trabajo, se han descrito los criterios de identificación de las especies *Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jaq., y explicado brevemente los métodos y principios básicos para determinar la variación inter e intra-específica de ambas especies. Se aportó información para determinar la variación interpoblacional o entre variedades y sobre las estrategias metodológicas para evaluar las diferencias de población a población. Los conceptos aquí vertidos son apoyados por referencias bibliográficas adonde el lector puede recurrir para ampliar su comprensión. Los criterios generales sugeridos para obtener una estimación de la variación intrapoblacional de *Capsicum* en la Amazonía Central de Perú son:

1. Determinar la especie y las variantes morfológicas, variedades locales o morfotipos dentro de cada especie, con apoyo de sus cultivadores.
2. Establecer la región objetivo y algunos indicadores del tamaño y ubicación de las poblaciones (parcela o huertos familiares) para determinar la forma de caracterizar *in situ* o tomar una muestra.
3. Evaluar la variación fenotípica y, cuando sea posible, la variación genética o genotípica (diferenciación entre las poblaciones) mediante:
  - Cuantificación *in situ* y utilización del método de la regresión progenie-progenitor para obtener un estimador del valor genotípico de la población a partir de la ecuación de heredabilidad en el sentido estricto ( $h$ ).

- Caracterización y evaluación preliminar en o fuera del campo del agricultor. Mediante un diseño experimental y el posterior uso de los componentes, la evaluación permite estimar la diferencia inter-poblacional por el método de componentes de varianzas.
  - Caracterización bioquímica o molecular. La diversidad genética total, inter e intra-poblacional se estima mediante las F-estadísticas de Wright y otros estimadores de diversidad genética como la heterocigosidad o diversidad génica, el porcentaje de loci polimórficos y la varianza genética.
4. El análisis estadístico de la información morfológica con fines de descripción y ordenación es de gran utilidad cuando se requiere obtener una colección central.

## Referencias

- Afifi, A.A. and V. Clark. 1990. Computer Aided Multivariate Analysis. Chapman Hall, London, UK.
- Anderberg, M.R. 1973. Cluster Analysis for Applications. Academic Press, New York, USA.
- Anderson, T. W. 1984. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Bergman, R. 1980. Amazon economics; The simplicity of Shipibo Indian Wealth. Department of Geography, Syracuse University, NY, USA.
- Brown, A.H.D. and D.J. Schoen. 1994. In: Loeschcke V, Tomiuk J and Jain SK, editors. Optimal sampling strategies for core collections of plant genetic resources. Conservation Genetics. Birkhäuser Verlag Basel, Switzerland, pp. 357-370.
- Brown, A.H.D. and D.R. Marshall. 1995. A basic sampling strategy: theory and practice. In: Guarino L, Rao VR and Reid R, editors. Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines. CAB International. IPGRI, FAO, IUCN and UNEP. Cambridge, UK, pp. 75-91.
- Chávez S., J.L. 1999. Diversidad morfológica e isoenzimática del chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en México. Tesis Dr. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- Chérifi, K., M. Boussaid et M. Marrakchi. 1993. Diversité génétique de quelques populations naturelles de *Medicago ciliaris* (L) Krock et de *Medicago intertexta* (L) Mill. I. Analyse de la variabilité morphologique. Agronomie 13: 895-908.
- Cleveland, D.A., D. Soleri and S. E. Smith. 2000. A biological framework for understanding farmer's plant breeding. Econ. Bot. 54: 377-394.
- Collado P., L.A. 2002. Diversidad cultivada y sociocultural en la Amazonía Central de Perú. Tesis M. Sc. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for Spatial Data. John Willey & Sons, Inc., New York, USA.
- Crossa, J. 1989. Methodologies for estimating the sample size required for genetic conservation of outbreeding crops. Theor. Appl. Genet. 77: 153-161.
- Diggle, P.J. 1979. On parameter estimation and goodness of fit for spatial point patterns. Biometrics 35: 87-101.
- Eshbaugh, W.H. 1976. Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum* – Solanaceae). Bull. Torrey Bot. Club 102: 396-403.
- Eshbaugh, W.H. 1980. The taxonomy on the genus *Capsicum* (Solanaceae). Phytologia 47: 153-166.
- Ewens, W.J. 1982. On the concept of the effective population size. Theor. Pop. Biol. 21: 373-378.
- Falconer, D.S. and T.F.C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Group, UK.
- Franco, J., J. Crossa, J. Villaseñor, S. Taba, and S.A. Eberhart. 1997a. Classifying mexican maize accessions using hierarchical and density search methods. Crop Sci. 37: 972-980.
- Franco, J., J. Crossa, J. Diaz, S. Taba, J. Villaseñor and S. A. Eberhart. 1997b. A sequential clustering strategy for classifying gene bank accessions. Crop Sci. 37: 1656-1662.
- Hamon, S. and D.H. van Sloten. 1989. Characterisation and evaluation of okra. In: Brown AHD, Frankel OH, Marshall DR and Williams JT, editors. The Use of Plant Genetic Resources. Cambridge University Press. Cambridge, UK, pp. 173-196.
- Hernández, S., R. Luna and K. Oyama. 2001. Genetic structure and differentiation of wild and domesticated populations of *Capsicum annuum* (Solanaceae) from México. Plant Syst. Evol. 226: 129-142.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1983. Genetic resources of *Capsicum*. International Board for Plant Genetic Resources, and FAO. Rome, Italy.
- IPGRI. 2001. The design and analysis of evaluation trails of genetic resources collections. A guide for genebank managers. IPGRI Technical Bulletin No. 4. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

- IPGRI, AVRDC and CATIE. 1995. Descriptor for *Capsicum* (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan; and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Izumi, S., P.J. Cuculiza, and Ch. Cano. 1972. Excavations at Shillacoto, Huánuco, Perú. Bulletin No. 3. University Museum, University of Tokyo. Tokyo, Japan.
- Jensen, J.R., M.J. McLeod, W.H. Esbaugh, and S.I. Guttman. 1979. Numerical taxonomic analyses of allozymic variation in *Capsicum* (Solanaceae). *Taxon* 28: 315-327.
- Johnson, R.A. and D.W. Wichern. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice-Hall. NJ, USA.
- Jolliffe, I.T. 1972. Discarding variables in a principal components analysis. I. Artificial data. *Applied Statistics*. *J. Royal Stat. Soc. Series C* 21: 160-173.
- Jolliffe, I.T. 1973. Discarding variables in a principal components analysis. I. Real data. *Applied Statistics*. *J. Royal Stat. Soc. Series C* 22:21-31.
- Lathrap, D.W. 1958. The cultural sequences at Yarinacocha, Eastern Perú. *American Antiquity* 23: 379-388.
- Loaiza, F., K. Ritland, J.A. Laborde and S.D. Tanksley. 1989. Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. *Plant Syst. Evol.* 165: 159-188.
- Mardia, K.V., J.T. Kent, and J.M. Bibby. 1979. *Multivariate Analysis*. Academic Press. San Francisco, USA.
- Marshall, D.R. and A.H.D. Brown. 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. In: Frankel OH and Hawkes JG, editors. *Genetic Resources for Today and Tomorrow*. Cambridge University Press. Cambridge, UK, pp. 53-80.
- Melchiorre, P. 1992. Phenetic relationships among different races of maize (*Zea mays* spp. *mays*) from Salta (Argentina). *Maydica* 37: 329-338.
- McCabe, G.P. 1984. Principal variables. *Technometrics* 26: 137-144.
- McLeod, M.J., W.H. Eshbaugh, and S.I. Guttman. 1979. A preliminary biochemical systematic study of the genus *Capsicum* – Solanaceae. In: Hawkes JG, Lester RN and Skelding AD, editors. *The biology and Taxonomy of the Solanaceae*. Academic Press, London, pp. 701-713.
- Milligan, G.W. 1981. A Monte Carlo study of thirty internal criterion measures for cluster analysis. *Psychometrika* 46: 187-199.
- Milligan, G.W. and M.C. Cooper. 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in data set. *Psychometrika* 50: 159-179.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1991. The house gardens of Santa Rosa: Diversity and variability in an Amazonian agricultural system. *Econ. Bot.* 45: 166-175.
- Pflieger, A., A. Palloix, C. Caranta, A. Blattes and V. Lefebvre. 2001. Defense response genes co-localized with quantitative disease resistance loci in pepper. *Theor. Appl. Genet.* 103: 920-929.
- Pickersgill, B. 1969. The archeological record of chili peppers (*Capsicum* spp.) and the sequence of plant domestication in Perú. *American Antiquity* 34: 54-61.
- Pickersgill, B. 1971. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (genus *Capsicum*). *Evolution* 25: 683-691.
- Pickersgill, B., C.B. Heiser and J. McNeill. 1979. Numerical taxonomy studies on variation and domestication in some species of *Capsicum*. In: Hawkes JG, Lester RN and Skelding AD, editors. *The biology and Taxonomy of the Solanaceae*. Academic Press, London, pp. 679-700.
- Pla, L.E. 1986. *Análisis multivariado: Método de componentes principales*. Secretaría de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. USA.
- Prince, J.P., F. Loaiza-Figueroa, and S.D. Tanksley. 1992. Restriction fragment length polymorphism and genetic distances among Mexican accessions of *Capsicum*. *Genome* 35: 726-732.
- Prince, J.P., V.K. Lackney, C. Angeles, J.R. Blauth and M.M. Kyle. 1995. A survey of DNA polymorphism within the genus *Capsicum* and the fingerprinting of pepper cultivars. *Genome* 38: 224-231.
- Rodríguez, J.M., T. Beke, L. Engle and J. Nienhuis. 1999. Variation among and within *Capsicum* species revealed by RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 99: 147-156.
- Rojas, W., P. Barriga, and H. Figueroa. 2000. Multivariate analysis of the genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. *Plant Gen. Res. New.* 122: 16-23.
- Romesburg, H. Ch. 1984. *Cluster Analysis for Researchers*. Lifetime Learning Publications. Belmont, CA.
- Sánchez G., J.J. and M.M. Goodman. 1992. Relationships among the mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46: 72-85.
- SAS. 1996. *SAS/STAT user's guide, release 6.10*. SAS Institute, Inc. N.C. USA.

- 
- Smith, J.S.C., M.M. Goodman, and R.N. Lester. 1981. Variation within teosinte. I. Numerical analysis of morphological data. *Econ. Bot.* 35: 187-203.
- Smith, P.G. and Ch.B. Heiser. 1957. Taxonomy of *Capsicum sinense* Jacq. and the geographic distribution of the cultivated *Capsicum* species. *Bull. Torrey Bot. Club* 84: 413-420.
- Smith, S.P. and A.K. Jain. 1984. Testing uniformity in multidimensional data. *Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)* 6:73-81.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1989. *Statistical Methods*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1982. *Principios y Procedimientos de Estadística*. McGraw-Hill. México.
- Tewksbury J.J., G.P. Nabhan, D. Norman, H. Suzan, J. Tuxill, and J. Donovan. 1999. *In situ* conservation of wild chiles and their biotic associates. *Conservation Biology* 13: 98-107.
- Weir, B.S. 1990. *Genetic Data Analysis*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Weir, B.S. and C.C. Cockerham. 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38: 1358-1370.
- Wolfe, J.H. 1970. Pattern clustering by multivariate mixture analysis. *Multivariate Behavior Res.* 5: 329-350.
- Yonezawa, K. 2000. *In situ* conservation strategies for plant species: Some comments based on the recent advances in population genetic theories. In: *Proceedings of an International Conference held from 13th to 15th October 1999 with additional invited papers. Part 2 In Situ Conservation Research*. National Institute of Agrobiological Resources, Tsukuba, Japan, pp. 43-81.
- Zijlstra, S., C. Purimaha and P. Lindhout. 1991. Pollen tube growth in interspecific crosses between *Capsicum* species. *HortScience* 26: 585-586.



## **Caracterización morfológica de la yuca (*Manihot esculenta* C.) de Perú**

**Llormé Ríos Lobo**

Estudiante postgraduada de la Especialidad de Mejoramiento Genético de la Universidad Nacional Agraria La Molina. (Email: rioslobo@hotmail.com)

### **Introducción**

La diversidad biológica domesticada es importante porque proporciona la materia prima para que los fitogenetistas desarrollen nuevas variedades para un mundo cambiante. Sin los acervos genéticos de las especies cultivadas o potencialmente cultivables, se reduce el sustento y la seguridad alimentaria se ve amenazada. En general, los lugares que presentan una gran riqueza en variabilidad genética son rápidamente depredados, erosionados o habitados. La producción de alimentos está amenazada por un ambiente cambiante debido, entre otras causas, a la reducción de la variabilidad genética de importantes cultivos alimenticios.

La yuca es una especie eficiente en la producción de calorías y constituye el alimento básico de miles de personas en la costa y zonas tropicales y subtropicales de Perú. Además de ser fuente de carbohidratos para la alimentación humana, presenta grandes posibilidades de uso en la alimentación animal o como materia prima para la industria del almidón. En Perú, anualmente se siembran en promedio 116.800 hectáreas, 67% de esa superficie está localizada en la selva amazónica (Ucayali, Loreto, San Martín, Amazonas) y 30.5% en la sierra intermedia (Cajamarca, Junín, Cuzco y Huánuco, no más 2.900 msnm). Además, prospera en agroecosistemas donde otros cultivos tienen limitaciones.

Boster (1984, 1985) señala que los Aguaruna de selva amazónica peruana manejan y utilizan una gran variabilidad de morfotipos de yuca. Afirmación que coincide con lo reportado por Allem (1994) y Olsen y Schaal (1999) quienes señalan que en el Este de Perú y Oeste de Brasil se distribuyen algunas de las especies silvestres de yuca. *M. esculenta* subsp. *peruviana* que tiene como centro de origen Perú (Allem, 1994; Roa, 1997). La variabilidad dentro de la yuca cultivada y silvestre es amplia y parece relativamente fácil de utilizar. Entonces, las especies silvestres son consideradas como la dotación permanente de genes potenciales que pueden contribuir al mejoramiento genético de las cultivadas. En Perú, a pesar de su alto consumo, no se le ha dado la importancia que se merece. Se desconocen trabajos de investigación realizados con fines de clasificación para determinar la diversidad morfológica y sentar las bases para estimar la diversidad genética. Con el objetivo de describir y clasificar la variabilidad morfológica de yuca en Perú, se caracterizó una muestra de 183 accesiones de la colección *ex situ* del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA).

### **Materiales y métodos**

Se utilizaron 183 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) provenientes de las colecciones realizadas en diferentes departamentos de Perú que forman parte del banco de germoplasma del Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos de la Estación Experimental Donoso del Instituto Nacional de Investigación Agraria (Cuadro 1).

El ensayo de caracterización se condujo en el Centro de Investigación y Capacitación Hortícola Kiyotada Miyagawa (CICH-KM) en Huaraz, Lima, ubicado a 11° 28' de latitud Sur, 77° 14' de longitud Oeste y a una altitud de 180 msnm. El terreno presenta una topografía ligeramente inclinada a plana con pendiente de 3 por ciento, de horizonte profundo, suelo de textura franco-arenosa, pH altamente alcalino, bajo en materia orgánica y alto en carbonato de calcio. El sitio experimental se encuentra dentro de la zona agro-ecológica, costa subtropical con temperaturas entre 17 a 28 °C, humedad relativa entre 68% y 96%, con una precipitación de 900 mm.

**Cuadro 1.** Descripción general de las muestras de yuca incluidas en la caracterización morfológica, 2001.

Departamento	Provincias	Número de muestras	Rango altitudinal (m)
Amazonas	Bagua	5	360
Ancash	Santa y Casma	5	6-39
Apurímac	Abancay y Andahuaylas	5	2378-2899
Cajamarca	Cajamarca y Contumaza	2	2674-2720
Cusco	Paucartambo y Convención	6	532-1047
Huánuco	Leoncio Prado	17	570-652
Ica	Ica	1	406
Junín	Satipo y Chanchamayo	8	640-751
La Libertad	Trujillo y Pancasmayo	21	10-627
Lambayeque	Lambayeque, Ferreñafe y Chiclayo	10	11-45
Lima	Lima, Cañete, Huaraz y Huaura	50	30-570
Loreto	Maynas y Ucayali	17	104-154
Piura	Sullana y Piura	9	29-60
San Martín	Mariscal Cáceres, Tocache, San Martín y Lamas	21	333-750

La disposición de poblaciones, muestras, colectas o accesiones en el terreno, para su caracterización, se realizó con una distribución sistemática en surcos de 6 m lineales, 1.5 m entre surcos y 0.5 m entre plantas, 12 estacas por accesión. La siembra se realizó en septiembre de 2001. Se proporcionó la humedad necesaria mediante riegos para favorecer el buen desarrollo de las raíces. La cosecha se realizó cuando la planta había eliminado sus hojas en todo el tallo, quedando sólo las hojas apicales.

### Caracterización

Para describir la variabilidad morfológica, se utilizaron 64 variables base, de las cuales la mayor parte están incluidas en la lista de descriptores de la yuca de Fukuda y Guevara (1998) y otras fueron adaptadas. El registro de información se inició con los días a emergencia, y entre los 30 a 60 días se evaluaron los caracteres de hoja, color, pubescencia, nervadura, número y forma de lóbulos, longitud y diámetro, color, longitud y ángulo de inserción del peciolo, tamaño y margen de estípula. Las características del tallo se evaluaron de los 150 a 180 días después de la siembra; se describió el color del colenquima, color de la superficie interna y externa, ángulo de ramificación, forma de planta, y hábito de crecimiento. En la fase floración, se evaluó la presencia o ausencia de inflorescencia, color de sépalos, disco, estigma, anteras, presencia de flores femeninas, polen y fruto establecido. En la cosecha (240 a 270 días), se cuantificó el número de niveles por planta, hábito de ramificación y altura de planta. Asimismo, se evaluaron diversos parámetros de las raíces comestibles, tales como peso fresco total, pedúnculo de la raíz, forma de la raíz reservante, constricciones de la raíz y número, pesos, longitud y diámetro de raíces.

### Análisis de datos de caracterización

Se practicó un análisis descriptivo con los caracteres cuantitativos y cualitativos mediante un análisis de correspondencia (ACO) por el procedimiento CORRESP de SAS (SAS, 1996). La particularidad del ACO fue el énfasis a la evaluación de la contribución de cada variable al valor de la ji-cuadrada ( $X^2$ ) (Peña, 2002); no fueron incluidas las variables que en conjunto contribuyeron

con menos de 10% de la variación total. De esta forma, fueron elegidas las variables que más contribuyeron (>80%) a la descripción de la variabilidad de las accesiones de yuca. Con ese conjunto de variables (17), se procedió a realizar el análisis de clasificación o de conglomerados y, posteriormente, un dendrograma con las distancias euclidianas por el método de los promedios no ponderados en el programa STATISTICA (StatSoft, 1998).

## **Resultados y discusión**

### **Variación de caracteres**

Los parámetros estadísticos estimados para cada variable, como en otros trabajos (Boster, 1984), mostraron la gran variabilidad morfológica y fenológica de la yuca cultivada en Perú. Así, por ejemplo, en relación con el color de la hoja apical sin extenderse, el 60% de las muestras presentaron un color verde púrpura, 10% púrpura, 25% verde oscuro y 5% de color verde claro; en tanto que para la hoja desarrollada, el 90% fue verde oscuro y 10% verde claro. Para el color de la nervadura de hoja, 56.8% de las accesiones mostraron color rojizo-púrpura en diferentes grados y el 43.2% restante fue de color verde.

Para la forma del lóbulo de hoja, se consideraron siete estados: el 41.5% de las accesiones mostraron lóbulos de forma elíptica, 26.2% forma ovoide, 9.8% de forma lineal, el 8.2% oblongo lanceolada, 8.2% alargada con una constricción en el centro, 3.4% lanceolada y 2.7% de base ancha y ligeramente constreñida hacia el ápice. En la distribución de antocianina del pecíolo, el 54.2% de las muestras mostraron pigmentación en la parte basal, central y superior del pecíolo; y el 45.8% no presentaron antocianina. En el color de la corteza del tallo, se observó que el 46.4% fue verde oscuro, 28.9% café verde, 8.1% café oscuro, el 4.3% rojo ladrillo, 8.7% pajizo tono plateado y, además, un 3.6% con variaciones entre anaranjado, café claro y el verde claro.

En cuanto a la disposición de la raíz reservante, 42.6% de las muestras presentaron una tendencia horizontal, 36.1% irregular y el 21.3% restante se calificó como vertical. En relación con la forma de raíz: 35.6% de forma cónica, el 31.6% forma cónica cilíndrica, el 30.1% fusiforme, y el 2.7% restante se calificó como cilíndrica. En el color externo de corteza de raíz, 56.8% del total presentó un color café oscuro, 20.8% café claro y el 19.1% de color blanco; y para el color interno, el 33.3% fue blanco, 32.9% amarillo, 22.9% crema y 10.9% rosado.

Referente a la longitud de la raíz reservante, la variación fue desde 13 a 33 cm; una accesión de Huánuco alcanzó una longitud de 13 cm y otra de La Libertad presentó la mayor longitud con 32.8 cm. En pedúnculo de la raíz, 47.5% de las entradas mostró pedúnculo corto, 41.5% intermedio, 6.6% largo y el 4.4% mostró ausencia de pedúnculo. En diámetro promedio de la raíz reservante (variación de 2.8 a 4.7 cm), una muestra de Lambayeque presentó 2.82 cm y en mayor diámetro una de Ancash con 4.68 cm. Para el color de la pulpa, 89.1% de las entradas fue de color blanco y sólo 10.9% amarillo.

El número promedio de raíces por planta tuvo un rango de 2 a 14, donde el 60% del total de las muestras presentó dificultad en el desprendimiento de la corteza. El peso promedio de raíces por planta varió de 0.59 a 2.98 kg.

### **Descripción multivariable de la variabilidad morfológica**

El análisis de correspondencia (ACO) fue útil para reducir la dimensión de variables descriptoras de la morfología de 183 accesiones de yuca. 16 ejes o dimensiones fueron relevantes para describir la variabilidad morfológica de las muestras caracterizadas involucrando a las variables: color de la hoja apical, pubescencia de los brotes centrales, antocianina del pecíolo, color de la corteza y colénquima del tallo; pedúnculo, forma, desprendimiento, color de corteza, color de pulpa y constricciones de las raíces; color de sépalos, estigma, ovario y disco en las flores; y rugosidad del exocarpo del fruto. En este conjunto de caracteres, se presentó la mayor variación (amplitud

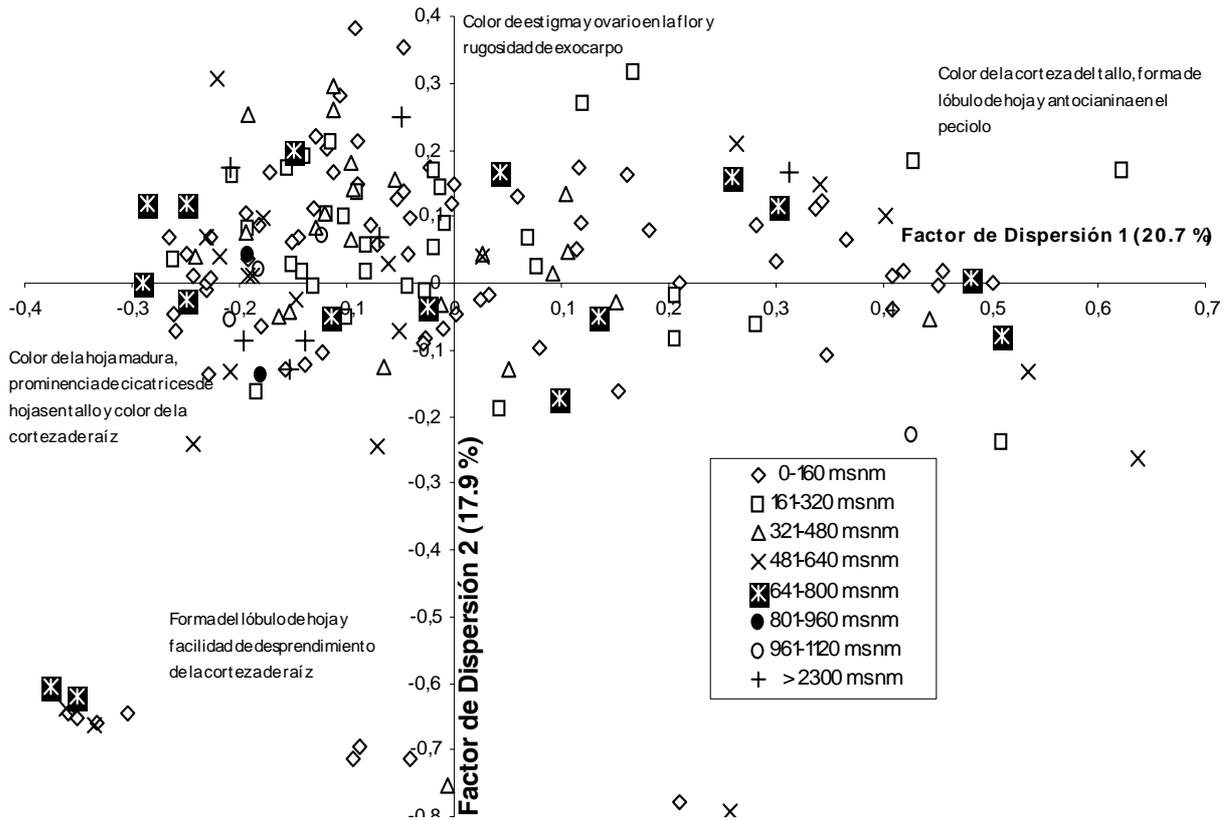
de las medidas multiestado) y, por tanto, fueron los que permitieron describir las diferencias entre las muestras caracterizadas. Nueve de los 16 ejes representaron el 83.4% de la variación (Cuadro 2).

En el ACO, se evaluó la contribución de cada variable en la explicación de la variabilidad total y en el conjunto de variables elegidas con mayor poder descriptivo predominaron las de tipo cualitativo. Además, es conveniente puntualizar que la propagación vegetativa permitió establecer una identidad de las accesiones con un conjunto de caracteres de hojas y raíces. Es decir, hubo poca variación entre las plantas de una misma accesión. De tal forma que la moda o promedio de la respectiva variable reflejó en forma precisa la variación morfológica de la accesión.

**Cuadro 2.** Valores propios, inercias, ji-cuadrada y contribución de cada eje de dispersión a la descripción de la variabilidad de yuca en el análisis de correspondencia.

Eje	Valor propio	Inercia principal	Ji-Cuadrada	Contribución parcial (%)	Contribución acumulada (%)
1	0.231	0.053	525.66	20.73	20.73
2	0.215	0.046	453.15	17.87	38.61
3	0.185	0.034	335.23	13.22	51.83
4	0.132	0.017	171.02	6.75	58.58
5	0.129	0.017	164.62	6.49	65.07
6	0.113	0.013	125.89	4.97	70.04
7	0.111	0.012	120.40	4.75	74.78
8	0.108	0.012	114.50	4.52	79.30
9	0.103	0.012	104.30	4.11	<b>83.42</b>
10	0.094	0.009	87.35	3.45	86.86
11	0.087	0.008	77.29	3.05	89.91
12	0.085	0.007	70.47	2.78	92.69
13	0.079	0.006	60.90	2.40	95.09
14	0.074	0.005	53.45	2.11	97.20
15	0.063	0.004	39.00	1.54	98.74
16	0.057	0.003	32.02	1.26	100.00
Total		0.258	2535.3	100.00	

La gráfica de dispersión por altitud del origen de las muestras caracterizadas, como parte del análisis de correspondencia, permitió visualizar la variabilidad morfológica a través de regiones (Figura 1). El departamento de Lima fue uno de los más representados con 50 accesiones, le siguen: La Libertad (21), San Martín (21), Huánuco (17) y Loreto (17) y, por consiguiente, dominan la dispersión en la Figura 1. De acuerdo con el primer eje de dispersión, las variables: color de la hoja madura y de la corteza del tallo, forma del lóbulo y antocianina en el pecíolo de la hoja ayudaron a desagregar las accesiones en un rango de variación desde colores claros (verde claro) hasta oscuros (morado). No obstante, no se observó una tendencia clara por el rango de latitud. Contrariamente, en sentido del eje dos, se formó un grupo de muestras (parte inferior de la Figura 1) que presentaron fácil desprendimiento de la corteza de raíz y con forma de lóbulo de la hoja tendiente a ovoide o elíptico-lanceolar (valores bajos en el carácter). En este grupo, las accesiones provienen de altitudes que no superan los 800 m.



**Figura 1.** Dispersión de 183 muestras en función de los dos primeros ejes factoriales del análisis de correspondencia.

### Clasificación de la variabilidad morfológica

Mediante el análisis de conglomerados, se formaron 17 grupos de accesiones a una distancia euclídeana de cinco (Figura 2). De acuerdo con la clasificación, la descripción general de los grupos (detalles en el Cuadro 3) es como sigue:

**Grupo 1 y 2 de la costa.** Corresponde a accesiones provenientes exclusivamente de la costa (Piura, Ancash, Lima, La Libertad) que no produjeron flores a los 10 meses después de la siembra. El grupo 1 se caracteriza por agrupar a muestras de hoja morada, forma ovoide del lóbulo de la hoja, corteza de tallo amarilla y forma cónica de la raíz. El grupo 2 se diferencia del 1 por poseer, entre otras cosas, hojas verde claro con lóbulo central alargado, constreñido en el centro con apariencia de punta de lanza hacia la base y ápice, y raíces de forma cónica cilíndrica.

**Grupo 3.** Es un grupo grande con 56 muestras originarias, en mayor proporción, de Lima, Lambayeque, San Martín y Loreto, y podría definirse como de las zonas bajas e intermedias costa-selva en un corredor formado por Tumbes, Lambayeque, La Libertad, San Martín y Loreto y, además, una región especial entre Lima y Cañete, en el departamento de Lima. El grupo se caracterizó por hojas verde claro, raíz cónica y sépalos con franjas rojizo-rosadas.

**Grupo 4.** Se integró por agrupar a muestras de la región comprendida entre La Libertad, San Martín y Huánuco, y algunas de Lima. Las hojas fueron verde-moradas, con corteza de tallo verde claro y sépalos ligeramente morados.

**Grupo 5 y 6.** Las accesiones que integran estos grupos se distinguieron por presentar hojas moradas, lóbulo central de la hoja ovoide y raíces cilíndricas o cónico-cilíndricas. La diferencia fue que en el grupo 5 el color de las franjas de los sépalos fue blanco-crema, y en el grupo 6, franjas color rojizo.

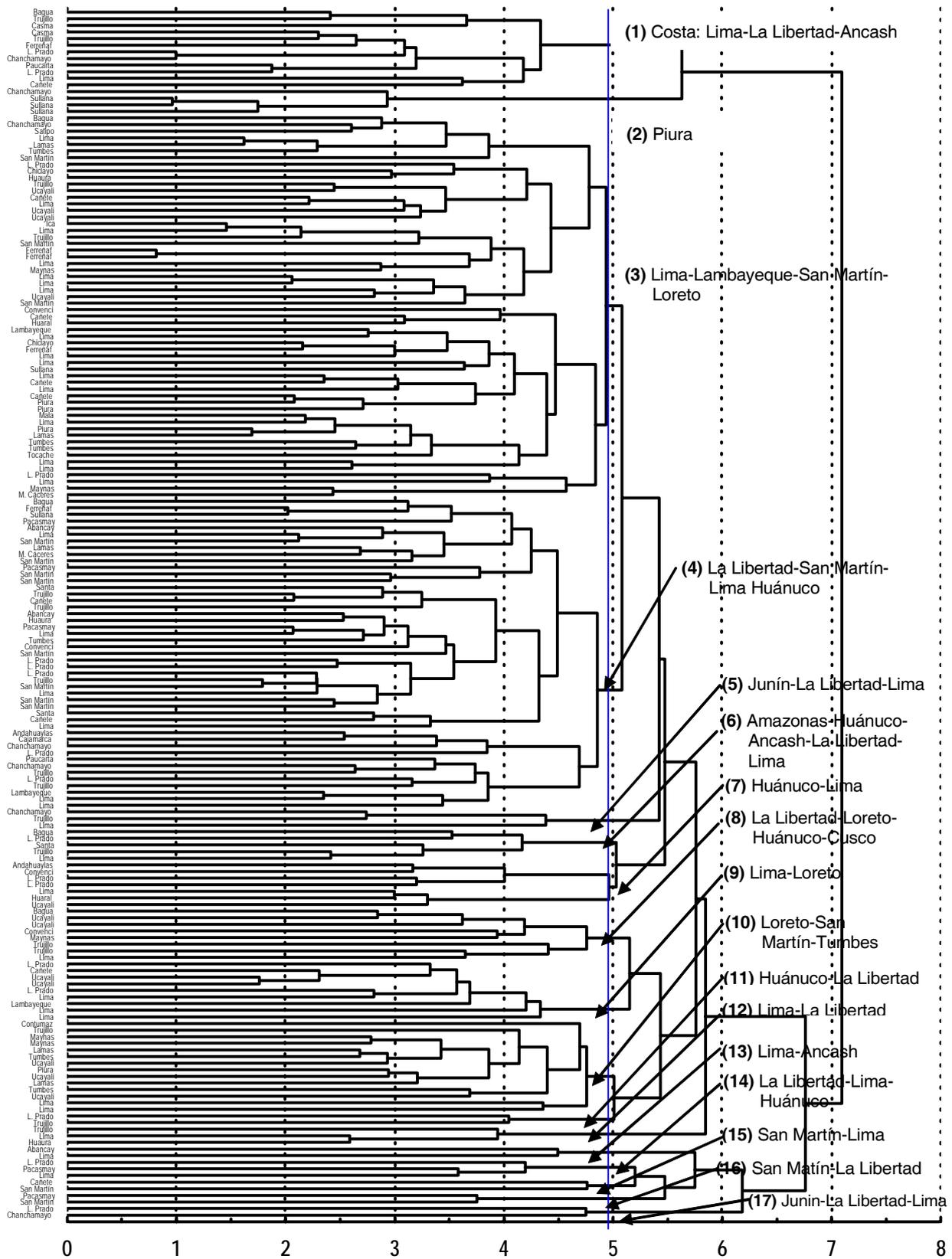


Figura 2. Dendrograma de 183 accesiones de Yuca provenientes de 15 departamentos de Perú.

**Cuadro 3.** Grupos resultantes del análisis de conglomerados (Figura 2).

Grupo	Núm. de muestras	Color de la hoja	Forma del lóbulo de la hoja	Color de la corteza del tallo	Forma de la raíz	Color de sépalos en la flor
1. Lima-La Libertad-Ancash	12	Verde morada	Ovoide	Amarillo	Cónica	--
2. Piura	4	Verde claro	Alargada constreñida en el centro	Amarillo	Cónica cilíndrica	--
3. Lima-Lambayeque-San Martín- Loreto	56	Verde claro	Elíptica lanceolada	Amarillo	Cónica	Franjas rojizas
4. La Libertad-San Martín-Lima-Huánuco	57	Verde morada	Elíptica lanceolada	Verde claro	Cónica cilíndrica	Franjas ligeramente moradas
5. Junín-La Libertad-Lima	3	Verde morada	Ovoide	Amarillo	Cónica cilíndrica	Blanco crema
6. Amazonas-Huánuco-Ancash	5	Verde morada	Ovoide	Amarillo	Cilíndrica	Franjas rojizas
7. Huánuco-Lima	7	Verde morada	Ovoide	Verde claro	Cónica	Blanco crema
8. La Libertad-Loreto-Huánuco-Cusco	8	Verde claro	Alargada y constreñida en el centro	Morado	Irregular	Franjas ligeramente moradas
9. Lima-Loreto	9	Verde oscuro	Alargada y constreñida en el centro	Amarillo	Cónica cilíndrica	Franjas rojizas
10. Loreto-San Martín-Tumbes	12	Verde claro	Elíptica-lanceolada	Morado	Cónica cilíndrica	Franjas rojizas
11. Huánuco-La Libertad	4	Verde claro	Ovoide	Morado	Irregular	Franjas rojizas
12. Lima-La Libertad	3	Verde oscuro	Ovoide	Verde oscuro	Cónica	Franjas rojizas
13. Apurímac-Lima	2	Verde claro	Elíptica lanceolada	Verde claro	Cónica cilíndrica	Verde
14. La Libertad-Lima-Huánuco	3	Verde claro	Ovoide	Amarillo	Cónica cilíndrica	Franjas ligeramente moradas
15. San Martín-Lima	2	Verde claro	Ovoide	Amarillo	Cónica cilíndrica	Verde
16. San Martín-La Libertad	2	Verde oscuro	Oblongo lanceolada	Verde oscuro	Cilíndrica	Franjas rojizas
17. Huánuco-Junín	2	Verde morada	Ovoide	Morado	Cilíndrica	Franjas rojizas

**Grupo 7.** Las diferencias morfológicas fundamentales con el grupo 5 fueron en relación con el color de la corteza: en el 5, amarilla y en el 7, verde claro.

**Grupo 8.** Las accesiones agrupadas provenían de Amazonas, Huánuco, La Libertad y Lima; es decir, de regiones muy dispersas, pero comunes en hoja color verde claro, lóbulo central constreñido en el centro, corteza morada, raíz de forma irregular y franjas rojizas en los sépalos .

**Grupo 9.** Se caracterizó por agrupar a accesiones de las regiones de Lima y Loreto de 154 a 240 msnm. Los sépalos de las flores fueron de franjas rojizas, corteza de tallo amarilla y, a diferencia del grupo 8, las hojas fueron de color verde oscuro.

**Grupos 10 al 17.** Dentro de estos grupos, se congregan las muestras provenientes de la Selva, Ceja de Selva (entre los Andes y Amazonas peruanos), y algunas de La Libertad específicamente. Por ejemplo, en general en cada grupo presentaron una muestra de San Martín o de La Libertad (grupos 10, 11, 12, 14, 15 y 16). Más detalles en el Cuadro 3.

### **Discusión, lecciones y conclusiones**

El total de muestras incluidas en esta caracterización permitió ver de manera rápida la variación morfológica de la yuca cultivada en Perú. Las variables utilizadas fueron útiles para describir en forma general la variabilidad morfológica. No obstante, no se logró captar las diferencias específicas entre dos o más accesiones cuando las variables cualitativas son categóricas y sólo las variables cuantitativas pueden establecer esas diferencias. En el trabajo descrito en este artículo, fue mayor el número de variables cualitativas que cuantitativas; por tanto, es conveniente hacer mayor énfasis en los caracteres cualitativos para dilucidar las diferencias que se observan en campo.

Las variables cualitativas que ayudaron a describir y clasificar las diferencias entre las accesiones de yuca fueron: color de la hoja apical, pubescencia de los brotes centrales, antocianina del pecíolo, color de la corteza y colénquima del tallo; pedúnculo, forma, desprendimiento, color de corteza, color de pulpa y constricciones de las raíces; color de sépalos, estigma, ovario y disco en las flores; y rugosidad del exocarpo del fruto. En este trabajo, se hizo mayor énfasis a los caracteres más descriptivos de la variabilidad morfológica que a los agronómicos; entonces, es razonable hacer una combinación de ambos. Es importante mencionar que el investigador o caracterizador debe concentrar sus esfuerzos, durante la recopilación de información en campo, en el conjunto de caracteres que proporcionen las diferencias entre las accesiones; es decir, evitar la información redundante. Por ejemplo, los caracteres como pubescencia de los brotes apicales, color de la epidermis de tallo y color de la pulpa de la raíz no presentaron gran variación (invariables) y fue una cantidad de tiempo invertido que bien podría utilizarse en evaluar una o más variables cuantitativas.

Se clasificaron las accesiones en 17 grupos de variabilidad con una tendencia a agrupar por origen ecogeográfico. Sobresalen los grupos de la costa: (1) Lima-La Libertad-Ancash y (2) Piura, por no presentar flores a los 10 meses después de la siembra. Las accesiones provenientes del departamento de Lima se distribuyeron entre los 17 grupos, pero predominaron los grupos 3, 4 y 5 de más número de accesiones y, generalmente, de raíces cónico-cilíndricas. Estos resultados constituyen una primera aproximación en la clasificación de la morfología de yuca en Perú, y los trabajos posteriores ayudarán a definir poco a poco con más precisión los grupos de variabilidad.

### **Referencias**

- Allem, A.C. 1994. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (*Euphorbiaceae*). Genet. Res. Crop Evol. 41: 133-150.
- Boster, J.S. 1984. Classification, cultivation, and selection of Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta* (*Euphorbiaceae*). Adv. Econ. Bot. 1: 34-47
- Boster, J.S. 1985. Selection for perceptual distinctiveness: Evidence from Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta*. Econ. Bot. 39: 310-325.
- Fukuda, W.M.G. y C.L. Guevara. 1998. Descriptores morfológicos e agronomicos para a caracterizacao de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.). EMBRAPA-CNPMP Documento 78. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 38 p.
- Olsen, K.M. and B.A. Schaal. 1999. Evidence on the origin of cassava: Phylogeography of *Manihot esculenta*. Proc. Natl. Acad. Sci. 96: 5586-5591.
- Peña, D. 2002. Análisis de Datos Multivariantes. McGraw-Hill, Madrid, España.
- Roa, A.C., M.M. Maya, M.C. Duque, J. Tohme, A.C. Allem and M.W. Bonierbale. 1997. AFLP Analysis of relationships among cassava and other *Manihot* species. Theor. Appl. Genet. 95: 741-750.
- StatSoft, Inc. 1998. STATISTICA for Windows release 5.1. StatSoft, Inc. Tulsa, OK. USA.

## Discusión general y conclusiones

Compiladores: **Ricardo Sevilla Panizo**<sup>1</sup> y **David E. Williams**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Coordinador Ejecutivo para la Secretaría Técnica de Coordinación con el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (STC-GCIAI) en Perú. Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Casilla 2791, Lima, Perú (Email: stc\_cgjar@inia.gob.pe).

<sup>2</sup>Biodiversity International (antes conocido como el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI), Oficina para las Américas, c/o CIAT A.A. 6713 Cali, Colombia (Dirección actual: USDA Foreign Agricultural Service, 1400 Independence Ave. SW, South Building, Room 3005, Stop 1084, Washington, DC 20250, USA. Email: david.williams@fas.usda.gov).

Las contribuciones de las secciones anteriores abordan temas que ayudarán a orientar al investigador acerca de cómo cuantificar los efectos socio-económicos y la diversidad de los cultivos en la Amazonía Central de Perú. En esta sección, se presentan las conclusiones de la mesa de discusión realizada al final del evento por el grupo de investigación que conduce el proyecto “Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola en fincas: Perú” y otros participantes de diversas instituciones. Así, en los siguientes párrafos, se presentan de manera muy breve en forma de preguntas y respuestas, las principales conclusiones que además reflejaron los avances que tenía el grupo de investigación del proyecto y que podrían ser útiles para otras investigaciones en la región.

- 1) ¿Contamos con una caracterización/clasificación adecuada para los cultivos en estudio? (yuca, maíz, frijol, *Phaseolus*, ají, *Capsicum*, maní y algodón).

**Debate.** Se opinó sobre varios de los casos o especies de interés. En general, se opinó que tanto la caracterización como la clasificación intra-específica están en la fase de la primera aproximación. Hay variación en los criterios, pero pueden uniformizarse.

**Conclusión.** Debe confirmarse con la clasificación intra-específica. En todos los casos, se considera que la clasificación intra-específica es preliminar, que la clasificación debe hacerse por aproximaciones sucesivas.

- 2) ¿Comprendemos adecuadamente la percepción de la diversidad de esos cultivos por parte de los agricultores?

**Debate.** Sólo se tiene un conocimiento preliminar sobre cómo perciben los agricultores la diversidad de sus cultivos. Hay que hacer reuniones con los agricultores para conocer sus criterios y opiniones. Parece que falta definir la unidad de diversidad que manejan los agricultores.

**Conclusión.** Clasificar la diversidad de las seis especies en forma participativa con los agricultores, respetando los criterios de los mismos. El análisis se hará con diseños y metodologías comunes aplicables a las sub-especies.

- 3) Sobre la base de la información existente, ¿qué acciones concretas debemos tomar para integrar y armonizar los esfuerzos de conservación *ex situ* con los de conservación *in situ*?

**Debate.** Aunque la conservación *ex situ* es muy cara y difícil en la mayoría de las especies, es absolutamente necesaria y debe complementar la conservación *in situ*.

La mejor manera de integrar ambas formas de conservación es devolver las variedades antiguas a los agricultores actuales.

Hubo consenso en devolver la semilla a los agricultores. En el caso del maíz, esto es posible porque los bancos de germoplasma conservan semilla de buena calidad.

Se debe tomar en cuenta la conservación mediante el uso en el contexto de la conservación *in situ*; sin embargo, hay programas y políticas de gobierno que promueven el monocultivo, que va en contra de la biodiversidad.

**Conclusión.** Siempre es conveniente desarrollar una actividad de investigación que tenga como propósito exponer o sembrar con los agricultores de la región, en sus propios campos, el germoplasma que se colectó en la región para que ellos lo seleccionen en forma participativa. Eventualmente, si alguna accesión es del gusto del agricultor, se puede programar una actividad para producir semilla él mismo.

- 4) ¿Cómo podemos comparar los resultados de la caracterización *ex situ* (morfológica y/o molecular) con la percepción y manejo de esta misma diversidad de parte de los agricultores?

**Debate.** Hay que trabajar más cercanamente con el agricultor nativo. La caracterización debe hacerse en sus mismos campos y los científicos deben visitarlos y trabajar con ellos.

**Conclusión.** La caracterización debe hacerse en forma participativa en sus propios campos y en la estación experimental, pero con participación de los agricultores. Los agricultores deben conocer los resultados, los mismos que deben expresarse en forma familiar o en términos muy locales para que se entiendan.

- 5) ¿Cómo podemos probar los modelos presentados de valoración socio-económica de la agrobiodiversidad?

**Debate.** Los modelos más completos y comprensivos son demasiado complejos y difíciles de probar.

**Conclusión.** Diseñar o adoptar una simulación sencilla para probar la valoración campesina del valor de uso de sus variedades.

- 6) ¿Cuáles serían las opciones posibles para agregar valor a las variedades locales?

**Debate.** Nuestra sociedad tiene un compromiso con la diversidad de las especies nativas. Hay que buscar maneras de aumentar su consumo y asignarle un valor como patrimonio cultural. El mejoramiento participativo es sólo una manera de agregar valor a la diversidad; el mercadeo y la creación de nuevos mercados son otras.

**Conclusión.** Una opción es mejorar las especies para generar variedades con buen rendimiento y con valor agregado, sin descuidar la conservación *in situ* de toda la diversidad. Después de tener un producto aceptado y uniforme, se deben buscar mercados internos y externos. La muestra que se oferte debe ser igual a la que se vende. Además, se señaló que los productos exportados deberán pasar por un control de uniformidad y calidad.

- 7) ¿Cuáles son los principales elementos desconocidos en torno al sistema informal de suministro e intercambio de semillas?

**Debate.** El suministro de semilla es una meta importante del proyecto y es necesario estudiarla, cuantificarla y analizarla; principalmente, para determinar el flujo genético y las implicaciones económicas en el intercambio de semilla. Además, será necesario mejorar las tecnologías locales de manejo y almacenamiento.

**Conclusión.** Es importante comprender el sistema de intercambio y acceso a las semillas. Determinar los flujos del sistema tradicional de abastecimiento de semillas para entender la estrategia de los agricultores para conseguir semillas de sus variedades todos los años, incluidos los años malos.

## **Instituciones participantes**

- Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral (AIDER)
- Bioversity International (antes, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IPGRI)
- Centro de Investigación y Promoción Amazónica (CIPA)
- Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF)
- Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU)
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)
- Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA)
- Ministerio de Agricultura (MINAG)
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA)
- Universidad del Pacífico (UP)
- Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)
- Universidad Nacional de Ucayali (UNU)



## Lista de participantes

### Jorge Alcántara Delgado

Biólogo  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Perú  
Tel. 51-1-3495646  
Email: [jead@mixmail.com](mailto:jead@mixmail.com)

### Giraldo Almeida

Catedrático  
Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 579528  
Email: [giraldo10@hotmail.com](mailto:giraldo10@hotmail.com)

### Gloria Arévalo

Especialista  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Perú  
Tel. 51-1-3495646  
Email: [elpor@fenix.inia.gob.pe](mailto:elpor@fenix.inia.gob.pe)

### Luis Arévalo

Investigador  
Centro Internacional para la Investigación en  
Agroforestería (ICRAF)  
Carr. Federico Basadre Km. 4.2, Pucallpa,  
Perú  
Tel. (064) 578704

### María Arroyo Jumpa

Ejecutiva de Proyectos  
Consortio para el Desarrollo Sostenible de  
Ucayali (CODESU)  
Carr. Federico Basadre Km. 4.2, Pucallpa,  
Perú  
Tel. (061) 577573  
Email: [codesu@terra.com.pe](mailto:codesu@terra.com.pe)

### Celso Calle Serrano

Catedrático  
Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 573068

### Héctor Campos

Director Encargado  
Estación Experimental Pucallpa del Instituto  
Nacional de Investigación y Extensión Agraria  
(INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 572754  
Email: [eepuc@terra.com.pe](mailto:eepuc@terra.com.pe)

### Andrés Castillo

Investigador  
Instituto de Investigaciones de la Amazonía  
Peruana (IIAP)  
Jr. Progreso 102, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 573732  
Email: [iiapu@terra.com.pe](mailto:iiapu@terra.com.pe)

### Brenda Castro

Especialista  
Estación Experimental Pucallpa  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 575751  
Email: [brendy27@yahoo.com](mailto:brendy27@yahoo.com)

### Mario Caveró Egúsqüiza

Dirección Regional Agraria y del Programa  
para el Desarrollo de la Amazonía (DRA-PDA)  
del Ministerio de Agricultura, Región Ucayali  
(MINAG-Ucayali)  
Jr. José Gálvez No. 287, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 592723  
Email: [mariocavero@hotmail.com](mailto:mariocavero@hotmail.com)

**Luis A. Collado Panduro**

Investigador  
Consorcio para el Desarrollo Sostenible de  
Ucayali (CODESU)  
Carr. Federico Basadre Km. 4.2  
Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 577573  
Email: [lucho\\_collado@yahoo.com](mailto:lucho_collado@yahoo.com)

**Mercedes Cueva**

Coordinadora de Sanidad Vegetal  
Servicio Nacional de Sanidad Agraria  
(SENASA)  
Jr. José Gálvez No. 287, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 571808  
Email: [svucayali@senasa.gob.pe](mailto:svucayali@senasa.gob.pe)

**José Luis Chávez Servia**

Investigador  
Bioersity International (antes IPGRI)  
Oficina Regional para las Américas  
c/o CIAT A.A. 6713, Cali, Colombia  
Tel. (57-2) 4450048  
(Dirección actual: CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca,  
Hornos #1003 Col. Nochebuena, C.P. 71230  
Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México)  
Email: [jchavezservia@yahoo.com](mailto:jchavezservia@yahoo.com)

**Roberto Del Aguila**

Técnico de Producción Agraria  
Ministerio de Agricultura, Región Ucayali  
(MINAG-Ucayali)  
Jr. José Gálvez No. 287, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 592723  
Email: [rdelaguilalomas@hotmail.com](mailto:rdelaguilalomas@hotmail.com)

**María Luz Donayre Gómez**

Catedrática  
Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 571721

**Elsa Galarza Contreras**

Jefe del Departamento de Economía  
Facultad de Economía  
Universidad del Pacífico  
Jr. Sánchez Cerro No. 2041, Jesús María,  
Lima 11, Perú  
Tel. (01)-4729635  
Email: [egalarza@up.edu.pe](mailto:egalarza@up.edu.pe)

**Jorge García Cavalier**

Catedrático  
Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 576775  
Email: [garciacavalier@hotmail.com](mailto:garciacavalier@hotmail.com)

**Enrique García Peixoto**

Catedrático  
Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 575017  
Email: [gpeixoto@amauta.rcp.net.pe](mailto:gpeixoto@amauta.rcp.net.pe)

**Angélica García Villacorta**

Estudiante de Biología  
Universidad Nacional Agraria La Molina  
Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú  
Tel. (01) 573801  
Email: [milgarv@hotmail.com](mailto:milgarv@hotmail.com)

**Mónica García Villacorta**

Estudiante de Agronomía  
Universidad Nacional Agraria La Molina  
Av. La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú  
Tel. (01) 3484120  
Email: [monica.garcia@lamolina.edu.pe](mailto:monica.garcia@lamolina.edu.pe)

**Wilfredo Guillén**

Coordinador de Recursos Genéticos  
Estación Experimental Pucallpa  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 575751 / 571913

**Fulvio Hidalgo**

Coordinador UST  
Estación Experimental Pucallpa  
Instituto Nacional de Investigación y Extensión  
Agraria (INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 572841

**Fausto Hinostrroza Mayta**

Gerente Regional  
 Instituto de Investigaciones de la Amazonía  
 Peruana (IIAP)  
 Jr. Progreso 102, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 573732  
 Email: [iiapu@terra.com.pe](mailto:iiapu@terra.com.pe)

**Xisto A. Imán Correa**

Investigador  
 Estación Experimental "San Roque"  
 Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
 Biotecnología del Instituto Nacional de  
 Investigación y Extensión Agraria  
 (PRONIRGEB-INIA-Roque)  
 San Roque s/n Iquitos, Perú  
 Tel. (094)-2611132  
 Email: [sixto\\_iman@hotmail.com](mailto:sixto_iman@hotmail.com)

**Antonio López**

Investigador  
 Instituto de Investigaciones de la Amazonía  
 Peruana (IIAP)  
 Jr. Progreso 102, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 572600  
 E-mail: [antoniolopez@hotmail.com](mailto:antoniolopez@hotmail.com)

**Franklin Mendoza**

Director  
 Centro de Investigación y Promoción  
 Amazónica (CIPA)  
 Tel. (061) 576977  
 Email: [cipa-pucallpa@peru.com](mailto:cipa-pucallpa@peru.com)

**Jaime Mori**

Investigador SIG  
 Estación Experimental Pucallpa  
 Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
 Biotecnología del Instituto Nacional de  
 Investigación y Extensión Agraria  
 (PRONIRGEB-INIA-Pucallpa)  
 Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa,  
 Perú. Tel. (061) 575751  
 Email: [morijaime@hotmail.com](mailto:morijaime@hotmail.com)

**Carlos Oliva Cruz**

Investigador  
 Instituto de Investigaciones de la Amazonía  
 Peruana (IIAP)  
 Jr. Progreso No. 102, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 845784  
 Email: [caoliva@hotmail.com](mailto:caoliva@hotmail.com)

**Luis Perea**

Técnico de Producción Agraria  
 Ministerio de Agricultura, Región Ucayali  
 (MINAG-Ucayali),  
 Jr. José Gálvez No. 287, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 573904

**Diana Pérez**

Investigadora  
 Instituto de Investigaciones de la Amazonía  
 Peruana (IIAP)  
 Jr. Progreso 102, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 573732  
 Email: [d2001perez@hotmail.com](mailto:d2001perez@hotmail.com)

**Fernando Pérez Leal**

Catedrático  
 Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
 Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 577657  
 Email: [fernandoperez57@hotmail.com](mailto:fernandoperez57@hotmail.com)

**Raúl Pilco**

Catedrático  
 Universidad Nacional de Ucayali (UNU)  
 Carr. Federico Basadre Km. 6, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 578974

**Roger Pinedo Ramírez**

Asistente de Investigación  
 Consorcio para el Desarrollo Sostenible de  
 Ucayali (CODESU)  
 Carr. Federico Basadre Km. 4.2, Pucallpa,  
 Perú  
 Tel. (061)-577573

**Simón Rafael**

Investigador SIG  
 Estación Experimental Pucallpa  
 Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
 Biotecnología del Instituto Nacional de  
 Investigación y Extensión Agraria  
 (PRONIRGEB-INIA-Pucallpa)  
 Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
 Tel. (061) 20688321  
 Email: [sirasa27@hotmail.com](mailto:sirasa27@hotmail.com)

**Alfredo Riesco de la Vega (Q.E.P.D)**

Director Ejecutivo  
Consortio para el Desarrollo Sostenible de  
Ucayali (CODESU)  
Jr. Ramón Dagnino No. 369, Jesús María  
Lima, Perú  
Tel. (01) 4246862

**Llermé Ríos Lobo**

Especialista  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Perú  
Tel. (01) 5311520  
Email: [rioslobo@hotmail.com](mailto:rioslobo@hotmail.com)

**Mohammed Sadiki**

Coordinador Interino del Proyecto Global de  
Conservación *In Situ*  
Bioversity International (antes IPGRI)  
Via dei Tre Denari, 472/a  
00057 Maccarese (Roma), Italia  
Tel. (39) 06618414  
Email: [m.sadiki@cgiar.org](mailto:m.sadiki@cgiar.org)

**Ricardo Sevilla Panizo**

Director de Recursos Genéticos  
Consortio para el Desarrollo Sostenible de  
Ucayali (CODESU)  
Jr. Ramón Dagnino No. 369, Jesús María  
Lima, Perú  
Tel. (01) 3495757  
Email: [stc\\_cgiar@fenix.inia.gob.pe](mailto:stc_cgiar@fenix.inia.gob.pe)

**Víctor Soto**

Especialista en Informática  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina 1981, La Molina,  
Lima 12, Perú  
Tel. (01) 3495646  
Email: [pnirslo@fenix.inia.gob.pe](mailto:pnirslo@fenix.inia.gob.pe)

**Rafael Soto Fernández**

Investigador  
Estación Experimental Pucallpa  
Instituto Nacional de Investigación y Extensión  
Agraria (INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 573801  
E-mail: [sfracael@ingeniero.net](mailto:sfracael@ingeniero.net)

**Raúl Torres Tristano**

Director  
Agencia Agraria Coronel Portillo (AACP)  
Ministerio de Agricultura, Región Ucayali  
(MINAG-Ucayali)  
Jr. José Gálvez No. 287, Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 590324

**Levi Fasabi Tuanama**

Técnico Agroforestal  
Estación Experimental Pucallpa  
Instituto Nacional de Investigación y  
Extensión Agraria (INIA-Pucallpa)  
Carr. Federico Basadre Km. 4  
Pucallpa, Perú  
Tel. (061)-571913  
Email: [levi-fasabi@yahoo.com](mailto:levi-fasabi@yahoo.com)

**Julio Ugarte**

Investigador  
Centro Internacional para la Investigación en  
Agroforestería (ICRAF)  
Carr. Federico Basadre Km. 4.2  
Pucallpa, Perú  
Tel. (064) 579222  
Email: [ugartej@yahoo.com](mailto:ugartej@yahoo.com)

**Mario Urrutia**

Jefe del Proyecto *In Situ*  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina No. 1981, La Molina  
Lima 12, Perú  
Tel. (01) 3495646  
Email: [insitufulm@fenix.inia.gob.pe](mailto:insitufulm@fenix.inia.gob.pe)

**Reynaldo Vasallo**

Director de Promoción Agraria  
Ministerio de Agricultura, Región Ucayali  
(MINAG-Ucayali)  
Jr. José Gálvez No. 287  
Pucallpa, Perú  
Tel. (061) 572923

**Carlos Vásquez P.**

Especialista  
Asociación para la Investigación y el  
Desarrollo Integral (AIDER)  
Tel. (061) 590407  
E-mail: [cvasquez@viabcp.com](mailto:cvasquez@viabcp.com)

**Yris Milusqui Verástegui Peña**

Bióloga  
Programa Nacional de Recursos Genéticos y  
Biotecnología del Instituto Nacional de  
Investigación y Extensión Agraria  
(PRONIRGEB-INIA)  
Av. La Molina 1981, La Molina, Lima 12, Perú  
Tel. (01) 3495646  
Email: [milusqui3@lycos.com](mailto:milusqui3@lycos.com)

**David E. Williams**

Científico  
Bioversity International (antes IPGRI)  
Oficina Regional para las Américas  
c/o CIAT A.A. 6713, Cali, Colombia  
Tel. (57-2) 4450048  
Dirección actual:  
USDA Foreign Agricultural Service  
1400 Independence Ave. SW, South Building  
Room 3005, Stop 1084  
Washington, DC 20250, USA  
Email: [david.williams@fas.usda.gov](mailto:david.williams@fas.usda.gov)

