

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

CONSULTORIA SOBRE EL ANALISIS DE LA PERTINENCIA DEL USO DE LA BIOTECNOLOGIA MODERNA, IDENTIFICACION DE APLICACIONES ESPECÍFICAS

MEJORA 1

BREVE ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA PAPAYA EN EL PERÚ Y LA PERTINENCIA DEL USO DE LAS VARIEDADES TRANSGÉNICAS RESISTENTES AL VIRUS DE LA MANCHA ANILLADA

CONSULTOR

Blgo. Mg. Carlos Scotto Espinoza

2010

1

(C. Scotto. Enero-2011)

BREVE ANÁLISIS DE LA IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE PAPAYA EN EL PERÚ Y LA PERTINENCIA DEL USO DE VARIEDADES TRANSGÉNICAS RESISTENTES AL VIRUS DE LA MANCHA ANILLADA

La *Carica papaya* (Linneo), fue nombrada por primera vez en la publicación *Species Plantarum* en el año de 1753. La papaya se obtiene del árbol conocido como papayo, y es originario de las zonas tropicales de México y Centroamérica. La papaya fue descrita por primera vez en 1526 por el cronista español Oviedo, quien la encontró en las costas de Panamá y Colombia. La dispersión mundial de la papaya se inicia aproximadamente en el año de 1500. Cuando los españoles la llevaron a Panamá y República Dominicana. Después la llevaron a Filipinas, Malasia y la India. Para 1600 aproximadamente, fueron llevadas a las regiones cálidas de Sur y Centro América, Sur de México, las Antillas, Bahamas, Bermudas y Florida. A Hawai llegó entre 1800 y 1820. En la actualidad el papayo se cultiva en forma comercial no solo en las regiones de América, sino también en África y Australia.

Biológicamente, el papayo es una planta tropical obteniéndose los frutos de mayor calidad y los rendimientos más altos en altitudes por debajo de los 800 metros. El factor **climático es un gran limitante**, que permite que este frutal se desarrolle o no. Su rango de temperatura óptima es entre 23° y 26°C, las temperaturas bajas inhiben su crecimiento y las temperaturas altas, le provocan abscisión floral y bajas en la producción. **El agua es otro limitante de la planta**; alrededor del 85% está compuesta por agua. La papaya, tanto en el proceso de germinación, vivero y primeros meses después de plantada, necesita para su crecimiento y desarrollo una gran cantidad de agua. Entre las variedades más conocidas a nivel mundial están: Solo, Bluestem, Graham, Betty, Fairchild, Rissimee, Puna, Hortusgred, Higgins, Wilder, Hortus Gold, Petersen, Zapote, Pusa, Maradol (Tabla 6).

Los pediatras recomiendan el consumo de la fruta de papaya, en la dieta del infante desde los primeros meses y el consumo en forma de jugos, a partir de los 30 días de nacido. La papaya contiene una enzima llamada **papaína**; que es un sulfidriolo proteasa, que es una molécula formada por una cadena de 212 residuos de aminoácidos. La cual ayuda a la digestión de proteínas en el cuerpo. Se utiliza en la industria como ablandador de carnes, en la clarificación de las cervezas, también en la industria papelera, textil, del cuero y cosmética. Popularmente, la papaya puede usarse para el tratamiento de la diarrea, alergias e indigestión. Otras propiedades de la papaya es que protege al cuerpo de la oxidación, previniendo el cáncer, ayuda a regular los niveles de colesterol, fomenta la absorción de hierro, ayuda a la elaboración y mantenimiento del colágeno para la unión de los tejidos, ayuda a aliviar la respiración asmática, ayuda a la recuperación por padecimientos de neumonía, mononucleosis, hepatitis y otras infecciones virales. La papaína también se ha utilizado en el tratamiento de úlceras, disolver membranas en la difteria y reduce hinchazones, fiebre y adherencias después de cirugías, donde es utilizada para el tratamiento por deslizamiento de discos en la columna. Por otro lado, el suministro de papaína reduce significativamente las poblaciones de patógenos facultativos como: *Escherichia coli*, *Staphylococcus albus*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter cloacae*. El bencil isotiocianato contenido en las semillas es un potente contra helmintos intestinales excepto la solitaria. El té de la flor de la papaya es febrífugo

y expectorante. El extracto alcohólico de las hojas es sedante y relajante muscular. También la hojas contienen un alcaloide la "Carpaína" que tiene propiedades farmacéuticas parecidas a *Digitalis* y al que se le atribuyen propiedades cardiotónicas. El té de hojas es considerado digestivo e hipotensivo; las hojas picadas se usan como antiséptico. A nivel zootecnístico, las hojas de papaya tiernas y las frutas dañadas o cocidas con semillas, se dan como alimento al ganado porcino para que engorde y se suavice su carne a la vez de bajar su contenido de grasas. Los indígenas suavizan la carne dura envolviéndola en hojas de papaya y poniéndola a cocer (Morton, 1987).

La papaya también contiene el **licopeno** el cual, fortalece el sistema inmunológico, promueve la fertilidad, ayuda a la síntesis de proteínas, puede prevenir cáncer del estómago, colon, recto, vejiga, mamas, boca, esófago, cérvix y pulmones, es requerido para la formación de huesos y el desarrollo, mejora la actividad de la muerte natural de las células, destruyendo a los agentes invasores. **El licopeno, es el pigmento que le imprime el color rojo a la pulpa de la papaya.** Los cultivares hawaianos contienen entre 20 a 40 partes por millón. En los cultivares criollos de pulpa amarilla, los pigmentos están presentes en una concentración de 8 partes por millón. **La intensidad del color depende de la concentración del pigmento, la cual variará de una localidad a otra.** En las pulpas rojas los carotenos contienen un 10% de los pigmentos, mientras que en pulpas anaranjadas alcanzan un 30% (Smith *et al.* 1992).

Un análisis estadístico es el mencionado por Elena Guzmán y colaboradores (2008), donde muestra dos gráficos que cuantifican matemáticamente la problemática de la producción de papaya. Concluyendo que el principal problema de orden técnico económico, es debido a **las plagas y enfermedades** que representa casi el 40% del total y en segundo lugar lo constituye la falta de **recursos económicos** con el 22% (Figura 11). Así mismo, entre los principales problemas de orden ecológico **principalmente asociados al factor agua**. Siendo principalmente el más importante **las sequías con el 60%**, luego **las inundaciones con el 27.40%**, y la degradación de los suelos con el 5.5% (Figura 12).

La mayoría de las enfermedades por plagas de insectos del papayo son controladas por el uso de insecticidas como: el Malatión, Supracid, Dimetoato, Tamarón, Folimat, Dipterex, Carbaryl, etc. (Tabla 5). Los árboles de papaya **son extremadamente susceptibles al daño químico causado por la fumigación excesiva con insecticidas.** Los síntomas iniciales son un enrollamiento de las hojas hacia arriba, acompañados por una textura similar a la del cuero, clorosis, cambio de color a marrón y caída de las hojas. Para el caso de los virus, **hasta la fecha no existen aún métodos de control eficaces**, tales como desbaste, cuarentena, intercalado con maíz como cultivo barrera, y la protección de plántulas transplantadas con bolsas de plástico; sólo proporcionan soluciones temporales o parciales a los problemas. Considerándose que la obtención de materiales resistentes o tolerantes es la mejor opción. La tolerancia a PRSV ha sido encontrado en algunas líneas de papaya en particular e introducido en las variedades comerciales, pero sus propiedades hortícolas todavía no son comercialmente las más deseables (Wang *et al.*, 1987, Manshardt *et al.*, 1989). Sin embargo, hasta la fecha **no se ha encontrado genes de resistencia al PRSV dentro de la misma especie *Carica papaya* o especies emparentadas** (Manual de cultivo de la Papaya, 2008).

Según la tabla 7, el porcentaje de los costos de producción por hectárea de papaya sembrada es: Preparación del terreno (5.70%), Plantación (45.29%), Fertilizantes (16.06%), **Insecticidas (7.15%)**, Labores de cultivo (18.83%) y Cosecha (18.83%).

La producción de *Carica papaya* (Papaya o Lechosa) está altamente limitada por la enfermedad viral **de la Mancha Anillada de la Papaya (VMAP)** o en inglés **Papaya Ringspot Virus (PRSV)**; presentándose la manifestación de la enfermedad al poco tiempo de ser transplantada. Esta enfermedad **es la principal limitante de la producción de papaya**, pues reduce el rendimiento y calidad de la fruta debido a la presencia de clorosis, la deformación o atrofia de las hojas y la aclaración de la nervadura, y anillos de color verde oscuro en los frutos y en la pérdida de hojas (hasta quedar sólo un penacho) que son los síntomas más notorios de la enfermedad (Figura 1). Las pérdidas mundiales en diferentes países por el PRSV **fluctúan entre el 30 al 80% de la producción** (Purcifull, 1984).

El PRSV es un potivirus transmitido por áfidos (Homoptera:aphididae) de manera no persistente. Un campo de papaya joven puede quedar totalmente infectado en el lapso de 3 a 4 meses. Esfuerzos para el control del vector con insecticidas de todo tipo no han sido efectivos (Clough *et al.*, 1995). El control químico del vector mediante el uso de aceite blanco para limpiar el estilete de insectos chupadores y disminuir la capacidad de infección (Trujillo Pinto *et al.*, 1989); la erradicación de plantas infectadas y el aislamiento de plantaciones a zonas que estén libres de enfermedad (Castaño-Zapato & Del Río, 1994); uso de variedades tolerantes, protección cruzada (Vegas *et al.*, 1999). Individualmente ningún método es eficaz y es necesaria la combinación de varios para tener mejores resultados (Gonsalves, 1994). La situación anterior se agrava con la falta de resistencia natural (Fitch *et al.*, 1993), por lo que **la incorporación de resistencia a este virus a las plantas de papaya provenientes de otras especies ha sido considerada como la opción más viable para el control de la mancha anular**. No se ha encontrado resistencia natural a este virus por lo que la investigación se ha volcado a la incorporación de genes de resistencia a PRSV, a plantas de papaya mediante transformación genética. Se ha reportado en varios trabajos recientemente, que plantas transgénicas expresando el **Gen de la Proteína de la Cubierta o Cápside del Virus (CP)** y que muestran niveles altos de resistencia a la infección de ese virus o cepas de ese virus. Este fenómeno es conocido como *resistencia de la cápside*. Esta resistencia surte efecto ya que el virus debe liberarse de la cápside antes de poder replicar su ARN, proceso indispensable para que la enfermedad pueda proseguir su curso. **La producción en la planta de la proteína de cápside o cubierta viral evita el ensamblaje de nuevas partículas virales**. Debido a esto se ha mostrado que plantas con el gen de las proteínas de la cápside incorporado, están protegidas contra la infección de ese virus (Tennant *et al.*, 1995; Clough *et al.*, 1995). Se hipotetiza que la presencia de algún componente viral (cápside) es responsable de conferir protección, interfiriendo con el anclaje, entrada y con la falta de formación de cápside del virus. También puede ser debido a la competencia de factores limitantes o interferencia con la replicación. Este fenómeno es conocido como resistencia de la cápside (Grumet, 1994). El genoma del ARN del PRSV posee 10 326 nucleótidos de longitud y sus principales genes

secuenciados se muestran en el siguiente orden: **P1—(IIC-Pro)-P3-6K1—CI-6K2—Nla—NTh—CP**. Se pueden utilizar dos metodologías para lograr introducir esta resistencia a las plantas, mediante una bacteria *Agrobacterium tumefaciens* (Yang *et al.*, 1996) y mediante una "pistola a presión" (Fitch *et al.*, 1992).

En la búsqueda de otras medidas alternativas de control, varios métodos han sido probados. Hasta el momento la herramienta más efectiva había sido la combinación de prácticas culturales de manejo integrado preventivo; utilizando barreras vivas, siembras asociadas con gramíneas, el deshoje semanal, trampas de atracción de insectos y un buen manejo integrado de plagas obteniéndose plantaciones de un año y medio sanas. La otra alternativa es la obtención de variedades híbridas resistentes o genotipos tolerantes al virus que permite alcanzar un mayor tiempo de producción comercial. Sin embargo, ***individualmente ninguno de estos métodos provee un buen control del PRSV para el manejo eficaz del virus y su combinación genera costos adicionales de producción insostenibles principalmente al pequeño agricultor*** (Pérez *et al.*, 2002). A esto se agrega, el hecho fitosanitario exigido por el **Codex Alimentarius**, que dice que ***el fruto de la papaya deberá estar exenta de plagas y daños que afecten el aspecto general del producto*** (Codex Alimentarius), siendo éste el principal síntoma en los frutos afectados por el virus PRSV (Figura 1).

El virus PRSV está clasificado en dos biotipos que no pueden ser distinguidos serológicamente. Pero que difieren en su habilidad para infectar a la papaya. El PRSV-P que infecta en forma natural a la papaya, y el PRSV-W, que es incapaz de infectar a la papaya. El PRSV-P fue descrita por primera vez en 1949 en Hawai (Jensen, 1949), y desde entonces se ha informado en muchos otros países en los que a menudo ha devastado la producción papayera en unos pocos años (Gonsalves, 1998).

Esta enfermedad provocó que la producción papayera norteamericana descienda de 25 893 toneladas en 1993 a 15 625 en 1998; es decir, **cerca del 40% de la producción**. Por esta razón se desarrolló la papaya transgénica resistente a virus en 1991 y las medidas de bioseguridad para su aprobación en los EUA tomaron 8 años (Mochida, 2007).

Desde el año 1995 se empezaron a producir variedades de papayos transgénicos denominados "Rainbow" y "SunUp". La SunUp es una línea transgénica homocigota para la CP y la Rainbow es un híbrido del cruce entre SunUp y la variedad no transgénica Kapoho. Por lo tanto es heterocigota para CP. Ambas presentaban mayor resistencia que las demás variedades frente al ataque del virus, para que se activara un gen que conferiría a los frutos una mayor resistencia frente al ataque del virus de la mancha anillada de la papaya (Ferreira *et al.*, 1993, 1997).

La papaya transgénica fue desregularizada por el APHIS (Servicio de Inspección Sanitaria Animal y Vegetal) y la EPA (Environmental Protection Agency) y la consulta fue completada por la FDA (Food and Drug Administration) en 1997. Empezaron a comercializarse en 1998 a través del Comité Administrativo de la Papaya de USA.

Una vez que fueron liberadas las variedades transgénicas, ***la industria de la papaya lentamente incrementó su producción La disponibilidad de estas variedades rescató a la agroindustria y mejoró el empleo para los numerosos pequeños productores de papaya*** (Paull *et al.*, 2002). Para Mochida (2007), **la industria de la papaya hawaiana ha**

demostrado que las variedades transgénicas y no transgénicas pueden coexistir de manera segura y complementarse. Dennis Gonsalves, el “padre de la papaya transgénica”, hace un balance retrospectivo de la situación de la papaya transgénica hoy. Textualmente apunta: *“Personalmente, sentí que iba a ser el comienzo de un período en el que la papaya transgénica resistente al PRSV se pongan a prueba y se desregularice en otros países dada la gravedad del problema PRSV. La papaya transgénica de Hawaii, sigue siendo la única papaya transgénica que se ha comercializado, aunque algunos países han desarrollado excelentes papayas transgénicas locales. ¿Sus logros tecnológicos siguen siendo solamente a nivel académico o de experimentos de campo y limitada en gran medida a sistemas confinados? Sospecho que el futuro próximo nos dará más puntos de vista sobre esta cuestión. En nuestro laboratorio, tenemos la intención de avanzar hacia la desregulación y la comercialización de otras líneas de papayas transgénicas. Será interesante ver cómo avanzar en este caso en comparación con los casos actuales en otros países”* (Dennis Gonsalves, 2007).

Las secuencias de las regiones que codifican la **Proteína de la Cubierta o Cápside viral o CP** (Coat Protein) han sido determinadas para varias cepas de PRSV-P en diferentes partes del Mundo (Bateson *et al.*, 1994). Inicialmente se había sugerido que existía poca divergencia en la secuencia de aminoácidos de la CP. Pero recientemente, otros estudios reportados sugieren una mayor la variación en la secuencia que lo que se pensó al principio con el PRSV-P. Además, el origen geográfico del PRSV-P no se conoce bien del todo, haciendo que los estudios de la evolución y la epidemiología del PRSV sean difíciles de analizar (Fitch *et al.*, 1992). Los científicos empiezan a aceptar que **el perfil de variación genética del PRSV-P es diferente en cada país**. Esto puede atribuirse principalmente, a la variación natural, la capacidad mutacional del virus para infectar a la papaya y el movimiento transfronterizo. Los cuales son influenciados por la proximidad y la interacción con otros países y las prácticas agronómicas. Por lo tanto, los escenarios son muy complejos y los altos niveles de divergencia en el PRSV-P en diferentes países plantean un desafío para el control del virus. El éxito de muchas de las estrategias de control actual contra el PRSV, en particular con la ingeniería genética de resistencia y la protección cruzada se basa en aceptar una baja variabilidad de las secuencias de la CP. Sin embargo, en muchos países, **el éxito de los métodos de control viral en particular puede variar en función a sus programas individuales contra el PRSV para cada país debido a que la CP puede variar en sus cepas presentes localmente** (Gonsalves, 1998).

Hoy existe la posibilidad de identificar las secuencias nucleotídicas de la CP del PRSV. Siendo los primers universales más comerciales para lograr este fin, los de las secuencias del primer: MB12A (5' GACTCAACAAACACACAAGCGCA'3) y el primer REP4 (5'GCTTCCGGAGCATCGATTGGAGGC'3) (Bateson *et al.*, 1994). Internacionalmente, las papayas transgénicas poseen dos tipos de eventos conocidos: 55-1/63-1 y X17-2. Ambos poseen resistencia contra PRSV y contienen al constructo con el promotor CaMV 35S. Es así, que **algunos países en vías de desarrollo donde ya se han realizado investigaciones para la obtención de papaya transgénica así como su identificación y detección para segregarlos de los no transgénicos** desde hace muchos años son: Guatemala (Fonacyt, 1999); Venezuela (Fermin *et al.*, 2004), México (Silva Rosales, 2005); Jamaica (Tennant *et al.*, 2005), Filipinas (Magdalita, 1999) y Brasil (Souza Junior *et al.*, 2004; Nickel *et al.*, 1993).

Desde el año 2008 el Consorcio Internacional del Genoma de la Papaya (USA y China) obtuvo el **75% del genoma completo** de la variedad SunUp. El cual abarca el 90% de los principales **25 000 genes activos de la papaya**. Esto permitiría avances en todas las áreas aplicadas a la papaya (Transgenic Papaya Genome Sequenced, 2008). Un aspecto importante que diferencia a la papaya del resto de grandes cultivos transgénicos como la soya, maíz, algodón y canola, es que **los países en vías de desarrollo que la están produciendo pueden acceder a tener derechos de propiedad intelectual sobre las variedades transgénicas de papaya obtenidas en sus laboratorios**.

Un dato mencionado por varios investigadores en papaya transgénica y el cual debe ser tomado muy en cuenta. Es que la selección de cultivos y técnicas de transformación genética sólo se ajustan a sus condiciones e intereses particulares. Así por ejemplo, el estar trabajándose con cepas de papaya hawaiana sólo se consiguió resistencia únicamente con esa cepa. Al exponer las papayas transgénicas a cepas virales de otras regiones, éstas son susceptibles a ser infectadas, perdiendo toda resistencia. En otras palabras, **si se desarrolla una papaya transgénica en particular, ésta línea no puede ser llevada a otra parte del mundo porque podría ser infectada por las variantes de las cepas locales. O al desarrollar papayas transgénicas utilizándose los análisis moleculares de las cepas obtenidos en otro país**. Podría no funcionar al momento de aplicarse para papayas nacionales. Este doble enfoque, debe ser cuidadosamente evaluado para evitar errores estratégicos (Namba *et al.*, 1992).

Hsieh & Pan (2006), **comprobaron que la plantaciones de papayas transgénicas tienen un impacto limitado en los microorganismos del suelo comparado con las plantaciones no transgénicas**. Además, **la proteína de la cubierta del PRSV no tiene ninguna de las propiedades físico-químicas que normalmente se asocian con los alérgenos o toxinas, tales como la estabilidad térmica y la resistencia a la digestión por fluidos gástricos**. Además, **tampoco posee regiones de homología en la secuencia de aminoácidos deducida del CP con las secuencias de aminoácidos de proteínas alergénicas o toxinas conocidas**. Se concluyó que los genes insertados en las líneas de papaya transgénica, **no da lugar a efectos nocivos ni posee un impacto significativo sobre los organismos no diana, incluidas las amenazas y especies en peligro de extinción o de organismos benéficos**. La proteína de la cubierta PRSV expresado en estas líneas de papaya se encuentra en todas las plantas PRSV-infectados, y no hay reportes de tener ningún efecto tóxico esta proteína. De hecho, esta proteína de la cubierta viral es habitualmente ingerido por prácticamente todos los animales, incluyendo seres humanos, cuando la papaya es consumida (FAO/WHO, 2001). Fuchs y Gonsalves (2007) han hecho una amplia revisión desde la comercialización de la papaya transgénica resistente al PRSV hace más de 12 años y no se ha reportado ninguna característica indeseable como son: **(1) Posibles efectos en organismos no blancos como insectos beneficiosos, mamíferos, microbios, virus, etc. (2) Flujo génico indeseado (Stokstad, 2008). (3) Persistencia en el ambiente. Y (4) Daño a la salud humana como alergenicidad y/o toxicidad**.

A nivel Mundial se destina **382 000 hectáreas** para el cultivo de papaya; es decir, el **0.76% de toda la superficie frutícola** que bordea las 50 millones de hectáreas. Los 10 países que encabezan la lista de exportadores en el mundo son: Brasil, México, Indonesia, India, Nigeria, Las Filipinas, China, **Perú**, Colombia y Mozambique.

Actualmente Brasil es el principal productor de papaya con casi el 25% de la producción mundial. Seguidos por México y la India con el 12% cada uno. **El Perú produce el 2.6 al 3.0% de la papaya a nivel mundial.** Es interesante hacer notar, que Brasil produce la cuarta parte de la producción mundial de papaya en un área de 37 000 hectáreas en promedio. Comparado con Nigeria por ejemplo, que posee un área superior con casi 90 000 hectáreas promedio, no llega a producir más que Brasil. Esto es debido a que el Brasil posee una productividad superior que Nigeria –que produce 8 Toneladas/Hectárea-. Y Brasil, con cerca de 43 toneladas de papaya por hectárea cultivada, tiene 6 veces más de productividad por hectárea sembrada de papaya (Figura 7). **La productividad de papaya en el Perú está en 12.8 toneladas por hectárea en promedio** (Figura 9). Y si la comparamos con México por ejemplo, que destina el doble de hectáreas para el cultivo de papaya -26 000 Hectáreas- que el Perú. Sin embargo, produce 5.6 veces más y abastece así el 15% de la producción mundial de papaya. Y Perú solamente aporta el 3% con la mitad de hectáreas. Esto se debe a que la productividad de papaya en México es casi tres veces más que la peruana (36.3 versus **12.8 toneladas/hectárea**). **Si se desea empoderarse en la lista de los diez países más productores de papaya a nivel mundial, el Perú debe enfocarse en aumentar su productividad por hectárea sembrada, más que su producción aumentando su frontera agrícola, la cual tendría que ser tomada mayormente de áreas naturales.**

En el año 2009, el Perú produjo aproximadamente **170 000 toneladas de papaya** (Figura 8) en un promedio de **13 000 hectáreas en total** (Figuras 6 y 7). Habría que resaltar el hecho de que, **esta área productiva del Perú no ha crecido en casi una década manteniéndose en casi el mismo promedio** (Figura 6). Comparándola con la superficie global destinada a la papaya, cuyo **promedio de crecimiento ha sido del 13%**. En otras palabras, **la superficie cultivada de papaya en el Perú no aumenta y probablemente no aumente y aún más con el problema sanitario de la PRVS**. Por otro lado, esta producción promedio de papaya está distribuida principalmente entre las Regiones del Ucayali que produjo **87 100 toneladas** (**49.9%** del total), San Martín con **23 000 toneladas** (el **13.3%** del total) y el Cuzco con **13 600 toneladas** (el **7.8%** del total), que es **el 71% de la producción papayera total del Perú**. Los rendimientos de las principales zonas productoras de papaya en el Perú para el 2004. Fueron: Huánuco presenta un rendimiento de **19.25 TM/Hectárea** en 3 844 hectáreas, seguido de Ucayali con **15.97 TM/Ha**, Pasco con **14.60 TM/Ha** y San Martín con **12 TM/Ha** (Ministerio de Agricultura, Sub Región Huánuco, 2005). Asimismo, el **Perú ha logrado ser el primer país sudamericano en exportar mango a China, a raíz de las medidas fitosanitarias que se aplican en el país para el control de la plaga de la mosca de la fruta**. Para el caso de la papaya, **“también podría llegar a ser exportable de superarse el problema con el PRSV, como se hizo con la mosca del mediterráneo en el caso del mango peruano”**.

En el Perú se presume que la enfermedad hizo su aparición inicial en el valle de Chanchamayo (Junin) y de allí se dispersó a Piura en la Costa Norte, a Jaén en la Selva Norte, Tocache en San Martín y Huánuco en la Selva Central (Figura 15). Las pérdidas ocasionadas principalmente por esta plaga se estiman en **S/.36 millones anuales** (Estudio Económico productivo del Perú, 3ra. Edición Perú Acorde, 2003).

La Dirección Regional de Agricultura, ha reportado que **el 90% de la superficie total de papaya sembrada de la Región del Ucayali, poco más de 3 000 hectáreas, está afectada por la plaga PRSV**, que reduce su productividad e impide su crecimiento, según informó la enfermedad preocupa a los agricultores, puesto que **afecta la producción y calidad de la fruta, haciendo que el cultivo pierda rentabilidad**. Esto lleva a que abandonen los cultivos y se vuelquen hacia productos tradicionales, como el plátano; o migren a otras zonas. Pero eso no es todo. El virus, que se reportó por primera vez en la región en 2006, también se está propagando en las plantaciones de zapallo, calabaza, melón y sandía. Este cultivo significa un importante ingreso para el poblador rural de las zonas de selva central, selva norte y costa norte del Perú y es una alternativa al cultivo de la coca. Para combatirla se ejecuta el **Plan de Emergencia** entre entidades públicas con el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) como la erradicación de cucurbitáceas en campos de papaya; y búsqueda de nuevas variedades de papaya resistente a la virosis. Pese a los esfuerzos de esa comisión, **la plaga todavía no se ha podido controlar hasta la fecha**. Las pérdidas por el PRSV en el Perú llegan a cerca del 40% (cerca de 68 000 toneladas al año) (Agroeconómica, 2010).

Un dato estadístico interesante es el hecho de que **Perú no figura entre los principales países exportadores de papaya** –está entre los diez principales productores, pero no entre los principales exportadores de papaya- (Figura 9). **El principal importador de papaya es USA con un promedio de 76 000 toneladas anuales que es casi el 45% de la producción mundial de papaya**. Y con el cual el Perú tiene un TLC firmado hace años (Figura 10). Pero que, las condiciones fitosanitarias por la PRSV impiden su ingreso al país del norte. Otros dos grandes importadores de papaya son China y Singapur con el 13% cada uno de la demanda Mundial. Si juntamos la Unión Europea (UE), actualmente constituye el segundo mercado más grande para la importación de papaya y de valor importado después de USA (pero de papayo no transgénico). El consumo de papaya en USA se debe mayormente por tener una gran población de origen hispano comedora de papaya. Sin embargo, el mercado de frutas en la UE es muy incierta, por la crisis económica que atraviesa el viejo continente. Más aún cuando la papaya es una de las frutas más costosas para el consumidor europeo. Una tendencia del consumidor europeo es consumir la papaya previamente procesada en jugos, pelada, rebanada en conservas, etc. A parte de consumir alimentos con beneficios para la salud como es el caso de la papaya. A esto habría que agregar que debido a las condiciones climatológicas y agronómicas desfavorables de Europa su cultivo es casi nulo o solamente para consumo local muy incipiente, por lo cual existe un mercado europeo de la papaya que aún falta consolidarse (Reglamento del mercado de la Unión Europea para las papayas, 2009).

En cuanto a los precios por el fruto de la papaya, **USA y China pagan 4.5 veces menos (0.66 dólares/Kg) por kilogramo de papaya**, que el promedio pagado **por un país de Europa (2.9 dólares/Kg)**. Y Singapur que es un gran importador, pero que **paga 17 veces menos que un país europeo promedio (0.17 dólares/Kg)** (FAO, 2008).

Algunos datos de la adopción de la papaya transgénica y su impacto económico en algunos países son mencionados: Tailandia, en el año 1975 se introdujo el PRSV, y se ha extendido en todo el país. La producción de papaya se redujo en más de la mitad para el año 2007 y sigue en retroceso. A pesar de la prohibición de OGM's en Tailandia, los cálculos tailandeses aseguran que de erradicarse la PRSV por ingeniería genética. Se generaría ganancias en un rango de 650 a 1 500 millones de dólares en los primeros 10 años desde la adopción biotecnológica. Además, se menciona que éstos beneficios se

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

acumularían principalmente en los agricultores de papaya a pequeña escala y que han estado perdiendo mercados de exportación desde hace años por el virus (Napasintuwong & Traxler, 2009). Canadá importa papaya transgénica para consumo humano procedente de Hawaii (USA) desde el año 2003. El gobierno canadiense no ha evidenciado ninguna diferencia nutricional ni peligro para salud humana con la papaya tradicional o no transgénica (Health Canada, 2006; FDA, United States Food and Drug Administration, 2003).

Lima Metropolitana consume casi el 80% de la papaya nacional (136 000 toneladas).

Durante los últimos trece años, según la información proporcionada por la Agencia Agraria del Ministerio de Agricultura (2005). Lima ha sido el principal mercado de la producción papayera nacional. Un estudio realizado a nivel nacional sobre el precio de la papaya en la Tesis de Inocente Salazar Rojas (2007). Se puede ver la variación de los precios de la papaya a través de la cadena productiva desde la cosecha **con un precio de campo de S./ 0.4 por papaya hasta su puesta en una juguería o restaurante limeño a un precio final de S./ 3.0** (Figura 13). Además, Salazar Rojas además hace un análisis muy interesante sobre la percepción y comportamiento del consumidor peruano de papaya. Concluye que ***muchos de los consumidores al parecer prefieren las papayas dulces y la asocian buena para la salud porque ayuda a la fácil digestión de los alimentos.*** Parece ser que ***los frutos pequeños y medianos*** (de hasta 2 kilogramos de peso) ***son los preferidos debido, aparentemente, a la dulzura de la pulpa*** (los frutos de mayor tamaño y peso contienen menos dulce) ***y a la utilización mediata o inmediata de consumo.*** Con respecto a la textura del fruto (dureza del fruto al ser presionado suavemente con los dedos de la mano), ***los consumidores prefieren comprar frutos que se muestren semiduros*** (70% de las preferencias). Los frutos blandos están asociados principalmente con un estado de madurez alto, siendo en consecuencia la vida útil del fruto más corta propenso al deterioro. ***Aparentemente la papaya no se consume instantáneamente en los hogares, sino que se almacena al menos de 1 a 3 días.*** Aquí existe una potencial aplicación biotecnológica que podría satisfacer esta necesidad del consumidor que el de ***prolongar la vida en anaquel o en el estante del fruto de la papaya y también el sabor*** como ya se está experimentando en otros países con los éstos rasgos (Figura 14, Tabla 4).

Las principales formas de consumo de esta fruta tropical son entre otras: jugos, en estado fresco, ensaladas y mermeladas. Siendo los jugos de papaya pura o en mezcla con otras frutas la forma más predominante **57.1%** entre el público peruano. En las tiendas ubicadas en el sector A (Clase Alta) se realiza la compra en mayor cantidad por semana, **en promedio 4.61 Kg., alcanzando valores máximos promedios de hasta 8.0 Kg.,** en el sector B (Clase media) el promedio es de 3.84Kg/semana. Mientras que en el sector C (Clase Baja) el consumo es menor en promedio se compra 2.83 Kg. Esto es debido a los ingresos disponibles para este tipo de productos alimenticios entre cada estrato social.

Haciendo una proyección con los datos productivos de papaya peruana disponibles actualmente se puede tener la siguiente comparación económica para el productor nacional de papaya (Tabla 7). Se puede estimar el menor beneficio/costo que recibe el productor de papaya peruano en el campo. Es decir, menos de la mitad ocasionado por el PRSV. Si proyectamos esta cantidad a la producción anual de papaya que es de **170 000 toneladas de papaya** (Figura 8). Se tiene una pérdida nacional por el PRSV de 68 000 toneladas. Lo cual representa para el campo casi 27.2 millones de nuevos soles para el productor de campo. Para Lima Metropolitana que consume casi el **80%** de la papaya

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

nacional (**136 000 toneladas**), podría **ser abastecida con 54 400 toneladas más y mover un promedio de 81.6 a 163.2 millones de Nuevos Soles entre el mercadeo mayorista y la puesta en restaurantes y juguerías limeñas.**

Si le tomamos en cuenta el valor agregado para exportación. Para este 2010, la papaya en conserva podría ofertar sin el PRSV un promedio de hasta 266.7 toneladas. Y la papaya congelada cerca de 51.45 toneladas. En términos económicos países como Canadá y USA que son los principales compradores que pagan un promedio de 0.66 dólares/Kg. Esto representaría en conjunto 210 000 dólares sólo tomando a éstos dos países como compradores de papaya (Nota del autor).

Para el año 2009, la exportación de papaya fresca peruana ha sido casi insignificante sólo 223Kg (por estar afectado por PRSV). Sin embargo, la papaya en conserva fue de 25.4 toneladas y la papaya congelada de 4.9 toneladas. Siendo los destinos principalmente Canadá (65%), USA (27%) y España (8%) para la papaya en conserva; y Chile (92.5%) y Antillas (7.5%) para la papaya congelada. Para el año 2010 esta exportación se incrementó casi 7.5 veces. **Cuyas proyecciones ideales serían: 190.5 toneladas para la papaya en conserva y 36.75 toneladas para la papaya congelada** (Agronegocios, 2010).

Producción de papaya transgénica resistente al PRSV en el Perú

El Instituto de Innovación Agraria (INIA) desde el año 2007 hasta el presente año 2010 viene desarrollando un Proyecto titulado: **“Estudio de la modificación genética de la papaya para producir plantas resistentes al virus de la mancha anillada”**. El proyecto consistió en conferir resistencia al virus de la mancha anillada en plantas de papayo mediante el uso de técnicas de ingeniería genética. El primero de su tipo en el Perú.

Estudio de la variabilidad genética existente en el país de las cepas locales del PRSV

Inicialmente se aislaron de hojas de papayo, el ARN de 50 cepas del virus PRSV de 5 localidades de la Selva Central y Norte (Figura 2). De este modo, se determinó la variabilidad genética del **gen de la CP** del virus PRSV en diferentes regiones del Perú. También se realizaron infecciones en plántones de papayo sanos como una forma de mantener el virus activo, estas fueron trasladadas al invernadero del INIA para estudios posteriores. Además, se sembraron semillas de variedades criollas de papayos en el invernadero del INIA, las cuales fueron inoculadas con el virus PRSV a partir de las hojas de los plántones infectados, para seguir manteniendo la viabilidad de los virus. Las infecciones se realizaron de forma mecánica. Los plántones de papayo infectados con el virus PRSV, fueron evaluados hasta la aparición de los síntomas provocadas por la enfermedad, luego de esto se procedió a la extracción de ARN total (ARN de la planta y ARN del virus PRSV). Luego se procedió a la obtención de ADN complementario por una retrotranscripción a partir del ARN obtenido del gen CP. La secuencia nucleotídica de la proteína de la cubierta del virus PRSV peruano tuvo una longitud de 400 pares de bases (pb) lo cual concordaba con los datos del PRSV del GenBank.

Todas las muestras amplificadas por PCR fueron secuenciadas y analizadas computacionalmente en la región de la proteína de cubierta del virus para hallar las

secuencias consenso para la construcción de un dendograma para el Perú (Figura 3) y donde se comprobó que existe una mayor relación filogenética entre las cepas de los Departamentos de Huánuco y de San Martín con respecto al Departamento de Junín. También se encontró que las cepas peruanas se encuentran separadas de otras cepas americanas de PRSV, lo cual definiría estrategias específicas para el caso de Perú al momento de diseñar constructos moleculares utilizadas para el papayo peruano (Figura 4). **Se utilizó la región más conservada de la CP del PRSV, para evitar la rápida generación de resistencia a la papaya transgénica.**

Se logró identificar a las dos cepas más virulentas de las muestras colectadas. Con las cuales se desarrollaron dos constructos para la transformación genética. Se diseñó dos constructos o vectores de transformación con sus respectivos mapas de restricción para ambos constructos.

Se empleó un mecanismo de silenciamiento genético post-transcripcional el cual fue incluido dentro del constructo. El constructo posee un gen de resistencia al antibiótico –gen del antibiótico Kanamicina–, fragmentos de la región de la CP en forma sentido y antisentido y otros segmentos. Finalmente el constructo fue denominado **pINIA001** (**p** = plásmido, **INIA** = institución donde fue elaborado el constructo) (Figura 5).

La **estrategia molecular** consiste en tener el gen PRSV que produzca una doble cadena de ARN dentro de la célula de la papaya que imite el genoma del virus. Este ARN es reconocido por la planta como una molécula foránea que activa el sistema de defensa de la planta que la degrada a fragmentos de aproximadamente 25 pares de bases. Cuando se produce una infección con el PRSV, el ARN viral de 400pb será degradado impidiendo la replicación del virus antes que se desarrolle la enfermedad.

Y con los cuales se están realizando eventos de transformación genética al ser insertados en *Agrobacterium tumefaciens* (strain EHA105). También se está realizando la regeneración *in vitro* de papayo de las variedades PTM331 y PTU 252 que fueron proporcionados por la Universidad de la Amazonia Peruana. Los ensayos de transformación y de regeneración mediante embriogénesis somática a partir de hipocótilos de semillas de papayo germinados, consistió en obtener embriones regenerados en medio selectivo de transformación. Una vez que los embriones se desarrollen en nuevas plántulas de papayo se tendrán plantas transgénicas *per se*. Cuyo ADN contenga parte de la secuencia del virus para obtener resistencia al mismo. Una vez obtenidas las plántulas transgénicas, serán evaluados en confinamiento en invernadero de acuerdo a las normas internas de bioseguridad para el manejo de plantas transgénicas de papayo en el laboratorio, invernadero y en campo.

Según los objetivos propuestos por el INIA en el desarrollo del proyecto, el principal éxito o impacto a lograr, es de disminuir **los elevados costos del control del virus de la mancha anillada, y aumentar los bajos rendimientos de los cultivos de papayo**. Todo ello, para contrarrestar la insuficiente capacidad productiva de los productores de papaya a una limitada participación institucional en programas nacionales de control viral. También, se reducirá el uso de insecticidas y pesticidas, puesto que el virus PRSV es fácilmente transmitido de planta a planta por las diferentes clases de áfidos que se encuentran en la zona. Además, **al usar menos cantidad de pesticidas se reducirían los costos de producción generando más ganancias de los pobladores rurales**

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

dedicados a su cultivo. El INIA está programando talleres de difusión entre los agricultores de las bondades y virtudes de contar con este material en el campo.

Flujo génico

El flujo génico a otras especies cultivadas o silvestres sería nulo, debido a la barrera biológica de la incompatibilidad sexual mediante el empleo de especímenes hembras, para evitar la dispersión del polen, lo cual es una consideración de bioseguridad. Por lo tanto, el impacto sobre la biodiversidad no sería afectada. A pesar de ello, cuando este cultivo logre obtener las autorizaciones respectivas para su siembra en campo, éste material será adicionalmente monitoreado para cumplir con las normas nacionales vigentes en materia de bioseguridad.

No habría riesgo de flujo génico a otras especies cultivadas o silvestres, puesto que sexualmente éstos son incompatibles. Por lo que, el impacto sobre la biodiversidad no sería afectada. Sin embargo, en el caso de siembra en el campo este material será monitoreado para cumplir con las normas nacionales vigentes.

Según INDECOPI, alrededor del Mundo existen 10 patentes relacionadas con el PRVS (encontradas en USPTO, European Patent Office (EPO), y la oficinas de patentes de España y Japón). Así se tiene las siguientes patentes:

- Patente No. 7 553 668 (USA) titulada: Papaya ring spot virus sequences and coat-protein mediated resistance.
- Patente No. 2005/0166289 A1 (USA) titulada: Small interfering RNA (siRNA)-mediated heritable gene manipulation in plants.
- Patente 6 353 155 (USA): Method for transforming plants.

El INIA en sus procesos de investigación están evaluando todos los alcances legales referentes a la transferencia de tecnología utilizadas para la papaya transgénica (Comunicación personal).

Niveles seguidos en la obtención de la papaya transgénica peruana

Los niveles son:

- (1) Evaluación de las diferentes cepas de PRV existentes en los campos de papayas peruanos para poder seleccionar el genoma viral específico a purificar.
- (2) Purificar el virus para identificar y secuenciar el gen de interés en éste caso el de la cápside viral.
- (3) El gen de la cápside se insertará a un vector o plásmido resistente a antibióticos comercialmente utilizado.
- (4) Lograr su replicación bacteriana.
- (5) Lograr la transformación de las plantas de papaya en el laboratorio.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

- (6) Seleccionar las células transgénicas verificándose la transformación mediante el uso de medios de cultivo con antibióticos.
- (7) Los embriones somáticos transformados obtenidos serán llevados a pruebas en invernadero a condiciones controladas.
- (8) Protección de los Derechos de Propiedad Intelectual: Generación de patentes.
- (9) Cumplimiento de la normatividad nacional de bioseguridad para la realización de ensayos en campo, desarrollo del Análisis de Riesgo para determinar la inocuidad alimentaria y el establecimiento de las medidas de bioseguridad para evitar los daños a la biodiversidad.
- (10) Manejo de la percepción pública: Difusión de información sobre los beneficios y potenciales riesgos de la papaya GM obtenida, los ensayos realizados para demostrar su inocuidad a la salud humana y a la biodiversidad.
- (11) Asociación o búsqueda de socios comerciales para la venta o cesión de las patentes obtenidas y/o la comercialización del producto obtenido.

Los pasos logrados en el Perú (INIA) han llegado hasta el nivel 6, faltando concretar los niveles 7, 8, 9, 10 y 11 (Comunicación personal).

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se presenta el resumen del presente análisis de la papaya peruana (vacíos, potencialidades, debilidades y fortalezas).

Bibliografía Consultada

Bateson, M., Lines, R., Revill, P., Chaleeprom, W., Ha, C., Gibbs, A. & Dale, J. 2002. On the evolution and molecular epidemiology of the potyvirus *Papaya ringspot virus*. *Journal of General Virology*, 83, 2575–2585.

Bolaños, Ileana. Reporte de Inteligencia Competitiva. DCE. Ministerio de Economía de El Salvador. Octubre-2005.

Castaño-Zapato, J. & Del Río, L. Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. Ed. H. Barletta. 3era. Ed. Zamorano. Honduras. Zamorano Academic Press. 289 p. 1994.

Clough, G. & Hamm, P. 1995. Coat protein transgenic resistance to watermelon mosaic and zucchini yellows mosaic virus in squash and cantaloupe. *Plant Disease*. 79(11): 1107-1109.

Codex Alimentarius. Tomado de: <http://www.codexalimentarius.net>

Entrevista a la Dra. Laura Silva Rosales, investigadora del Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Irapuato, México. 2005.

Estudio Económico productivo del Perú, 3ra. Edición Perú Acorde, 2003.

FAO/WHO Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from Biotechnology – Allergenicity of Genetically Modified Foods, Rome, 22–25 January 2001. Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Fermin, G., Inglesses, V., Garbozo, C., Rangel, S., Dagert, M. & Gonsalves, D. Engineered resistance against PRSV in Venezuelan transgenic papayas. *Plant Dis* 2004; 88:516–522.

Ferreira, S., Pitz, K., Manshardt, R., Zee, F., Fitch, M. & Gonsalves, D. 1997. Transgenic papaya controls papaya ringspot virus in Hawaii. *Phytopathology* 87:830.

Ferreira, S., Mau, R., Manshardt, R., Pitz, K. & Gonsalves, D. 1993. Field evaluation of papaya ringspot virus cross protection. In: 28th Annual Hawaii Papaya Industry Association Conference. 14-19.

Ferro, P., Benavides, J. & Ghislain, M. Intellectual Asset Management to make available virus resistant papaya to small-scale farmers in Peru. INIA-CGIAR. 2009.

Fitch, M., Manshardt, R., Gonsalves, D., Slightom, J. & Sanford, J. 1992. Virus resistant papaya derived from tissues bombarded with the coat protein gene of papaya ringspot virus. *Bio/Technology*, 10, 1466-1472.

Fitch, M., Manshardt, R., Gonsalves, D. & Slightom, J. 1993. Transgenic papaya plants from Agrobacterium-mediated transformation of somatic embryos. *Plants Cell Reports*. 12: 245-249.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

FONACYT. Reporte Final del Proyecto No. 9. Papayas de Exportación y Criollas con Resistencia a Papaya Ringspot Virus (PRSV). 15 de Octubre de 1999.

Fuchs, M. & Gonsalves, D. 2007. Safety of virus-resistant transgenic plants two decades after their introduction: lessons from realistic field risk assessment studies. *Annu Rev Phytopathol*, 45:173–202.

Gonsalves, D. 1997. Transgenic Papaya: Can we Proceed beyond the Hawaiian Experience? Proc. P' IS on Papaya. Eds. Y.K. Chan and R.E. Paull. Acta Hon. 740, ISHS.

Gonsalves, D. 1998. Control of papaya ringspot virus in papaya: a case study. *Annual Review of Phytopathology* 36: 415-437.

Gonsalves, D. 2004. Transgenic Papaya in Hawaii and Beyond. *AgBioForum*, 7(1&2): 36-40.

Gonsalves, D. y cols. 2006. Patente No. 7 078 586 B2. Papaya ringspot virus papaya. USA.

Grumet, R. 1994. Development of virus resistant plants via genetic engineering. *Plant Breeding*. 12: 47-79.

Guzmán, E., Gómez, R., Pohlan, H., Álvarez, J., Pat, J. & Geissen, V. 2008. La producción de papaya en Tabasco y los retos del desarrollo sustentable. *El Cotidiano*. Enero-Febrero. Vol. 23(147): 99-106.

Hsieh, Y. & Pan, T. 2006. Influence of Planting Papaya Ringspot Virus Resistant Transgenic Papaya on Soil Microbial Biodiversity. *J. Agric. Food Chem.* 2006, 54, 130-137.

IIAP. 2000. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Papayo mejorado variedad PTM – 331. Boletín informativo. Tingo María, Perú.

INDECOPI, Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. Perú. (Tomado de: <http://www.ibdecopi.gob.pe>).

INIA. 2010. Estudio de la modificación genética de la papaya para producir plantas resistentes al virus de la mancha anillada. Memoria Anual 2010. INIA.

Jensen, D. 1949. Papaya virus diseases with special reference to papaya ringspot. *Phytopathology* 39, 191-211.

Laurena, Antonio. Transgenic Papaya Technology in the Philippines: GM Papaya with Delayed Ripening Trait. Institute of Plant Breeding Crop Science Cluster, College of Agriculture UP Los Baños. Filipinas. 2010.

Manual de Cultivo de Papaya. Chemonics Internacional Inc. MCA/Nicaragua. Febrero del 2009.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Mae, E., Mendoza, T., Laurena, A. & Botell, J. 2008. Recent advances in the development of transgenic papaya technology. *Biotechnology Annual Review*. Vol. 14: 423-462.

Manshardt R.M. and Wenslaff T.F., 1989. Interspecific Hybridization of Papaya with Other *Carica* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(4): 689-694.

Magdalita, P. 1999. Questions & Answers on the Development of ringspot virus resistant Papaya in the Philippines. Institute of Plant Breeding University of the Philippines Los Baños.

Mochida, L. 2007. Trade and marketing of convencional versus transgenic papayas, *ISHS Acta Horticulturae* 740. Tomado de: <http://www.actahort.org/books/740/index.htm>

Morton, JF. 1987. Fruits of warm climates. Ed. Media Incorporate. p.p. 336-346. U.S.A.

Namba, S., Ling, K., Gonsalves, C., Slightom, J. & Gonsalves, D. 1992. Protection of transgenic plants expressing the coat gene of Watermelon Mosaic Virus II or Zucchini Yellow Mosaic Virus against six potyviruses. *Phytopathology*. 82(9): 940-946.

Napasintuwong, O. & Traxler, G. 2009. Ex-ante Impact Assessment of GM Papaya Adoption in Thailand. *AgBioForum*, 12(2): 209-217.

Nickel, O, Fuchs, M, Pang, S-Z, Alvizo-Villasana, H., Slightom, J., Gonsalves, D. 1993. Engineering the coat protein gene of a Brazilian strain of papaya ringspot virus. Abstracts of 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada, July 28-August 6, 1993. p. 190.

Paull, R., Ferreira, S y Manshardt, R. 2002. Transgenic fruit: development, handling and marketing, en: *ISHS Acta Horticulturae* 575: International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits. Tomado de: http://www.actahort.org/books/575/575_68.htm

Pérez, E., Hernández, A., Ortiz, D. Angel, D. 2002. Fruit set and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under integrated management to reduce Ringspot Viruses effects. *ISHS Acta Horticulturae* 370: International Symposium on Tropical Fruits.

Purcifull, D., Edwardson, J., Hiebert, E. & Gonsalves, D. 1984. Papaya ringspot virus. *CMIAAB Descriptions of Plant Viruses*, No. 292. Wallingford, UK: CAB International.

Salazar Rojas, Inocente. Estrategia para posicionar la papaya procedente de Leoncio Prado (Huánuco) en el mercado nacional. Tesis para optar el grado académico de Magíster en administración con mención en mercadotecnia. UNMSM. Febrero 2007.

Smith, N., Williams, J., Pluncknett, D. & Talbot J. 1992. Tropical Forests and their Crops. Cornell University Press. U.S.A.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Souza Júnior, M., Nickel, O & Gonsalves, D. 2005. Development of Virus Resistant Transgenic Papayas Expressing the Coat Protein Gene from a Brazilian Isolate of *Papaya ringspot virus*. *Fitopatol. Bras.* 30(4), Jul – Ago.

Stokstad, E. 2008. GM Papaya takes on Ringspot virus and Wins. *Science*. Vol. 320: 472.

Tennant, P, Gonsalves, C, Fitch, M, Manshardt, R, Slightom, JL, Gonsalves, D. 1993. Comparative reactions of transgenic papaya expressing the coat protein gene of papaya ringspot virus from Hawaii against challenge inoculations with isolates from different geographic regions. Abstracts of 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada, July 28-August 6, 1993. p. 190.

Tennant, P, Fitch, M, Manshardt, R, Slightom, J, Gonsalves, D. 1995. Analysis of papaya ringspot virus isolates differing in pathogenicity on transgenic papaya. *Phytopathology*. 85: 1145.

Tennant, P., Ahmad, M. & Gonsalves, D. 2005. Field resistance of coat protein transgenic papaya to papaya ringspot virus in Jamaica. *Plant. Dis.* 80:841–847.

Trujillo Pinto, G.; Vegas, A. & Monteverde, e. 1989. Control del virus de la mancha anillada y distorsionante de la lechosa (DRSV) mediante aspersiones con aceite blanco. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*. 15:141-156.

Vegas, A.; Gonzales, A.; Trujillo, G.; Pino, I. & Tovar, R. 1999. Bioprotección como parte del manejo agronómico del lechoso con relación con el virus de la mancha anillada de la lechosa (PRSV-P) en Venezuela. Centro de Nacional de Investigación Agropecuaria. Maracay. Venezuela.

Wang, H., Yeh, S. Chiu, R & Gonsalves, D. 1987. Effectiveness of cross protection by mild mutants of papaya ringspot virus for control of ringspot disease of papaya in Taiwan. *Plant Dis.* 71:491-497.

Yang, S., Yu, T., Cheng, Y. & Yeh, S. 1996. Transgenic papaya plants from *Agrobacterium*-mediated transformation of petioles of in vitro propagated multishoots. *Plant Cells Reports*. 15: 459-464.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Direcciones Internet

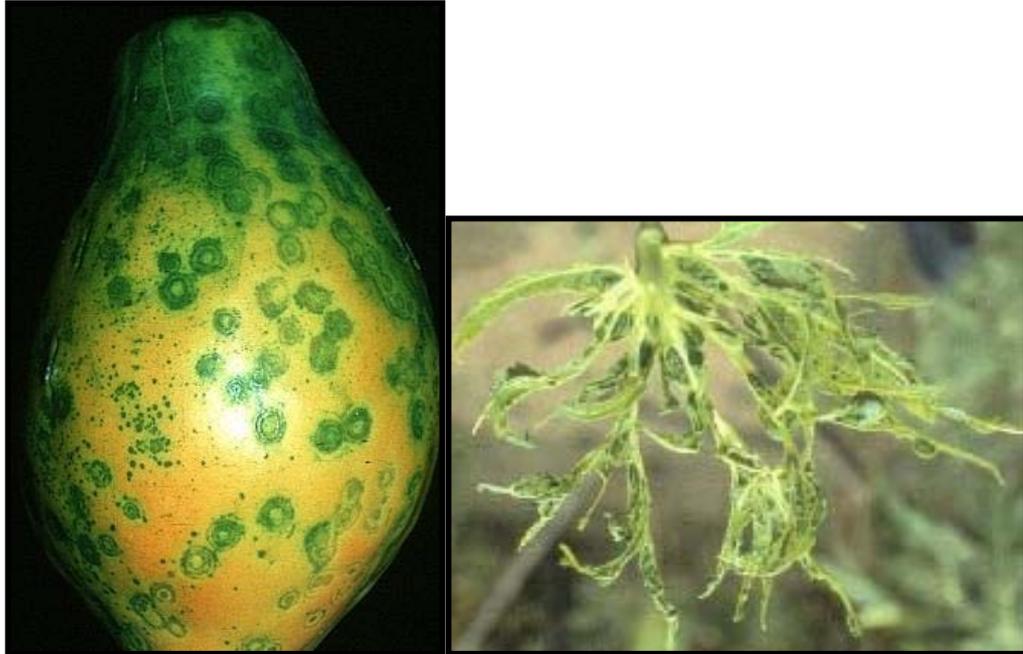
- Agroeconómica (2010): <http://www.agroeconomica.pe/2010/11/90-de-la-siembra-de-papaya-esta-infectada-con-plaga/>
- Agronegocios (2010): <http://agronegociosenperu.blogspot.com/2010/07/las-exportaciones-de-papaya-en-conserva.html>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA): <http://www.marketnews.usda.gov/portal/fv>
- El mercado de la Unión Europea para las papayas: <http://www.cbi.eu>
- Mercado Mayorista No. 2 de Lima: <http://www.minag.gob.pe/informacion-del-mercado-mayorista-n-2-de-frutas/informacion-del-mercado-mayorista-n-2/index.html>
- Reglamento del mercado de la Unión Europea para las papayas: <http://europe.eu.int/comm/agriculture/index>
- FAO: <http://faostat.fao.org>
- Health Canada. (2006). *Food and nutrition: Frequently asked questions biotechnology and genetically modified foods*: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/fs-if/faq_2-eng.php
- La Papaya: <http://www.monografias.com/trabajos16/papaya/papaya.shtml>
- Ministerio de Agricultura, Sub Región Huánuco (2005): http://frenteweb.minag.gob.pe/sisagri/agr_p1000.php
- Papaya Ringspot Virus. Gonsalves, D. Suzuki, J. & Tripathi, S.: <http://ddr.nal.usda.gov/dspace/bitstream/10113/37410/1/IND44289116.pdf>
- Transgenic Papaya Genome Sequenced (2008): <http://www.genomeweb.com/issues/news/146481-1.html?type=pf>
- United States Food and Drug Administration. 2003. *Genetic engineering: The future of foods?*: http://www.fda.gov/fdac/features/2003/603_food.html

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

LISTA DE FIGURAS

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 1: Fruto de papaya con PRSV (Foto Superior Izquierdo). Hoja de papayo con PRSV (Foto Superior Derecho). Planta de papayo transgénico resistente al PRSV versus el no transgénico susceptible (Foto Inferior) (Tomado de: Gonsalves, 2004).



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente



Figura 2: Lugares de colecta del PRSV en la Selva Peruana (Cortesía del INIA, Perú)

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente



Región San Martín: La Unión, Madre mía.

Región Huánuco: Tulumayo, Chinchavito

Región Ucayali: Sutulluy

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 3: Relaciones biogeográficas entre las secuencias de la CP del PRSV aislados de diferentes regiones de la selva central del Perú (Cortesía del INIA).

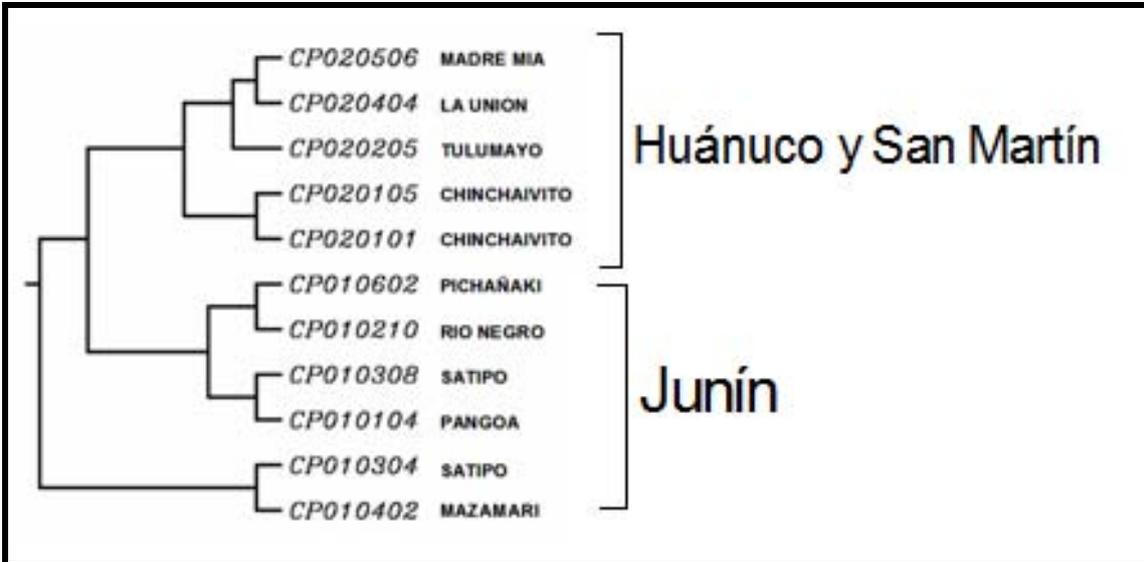
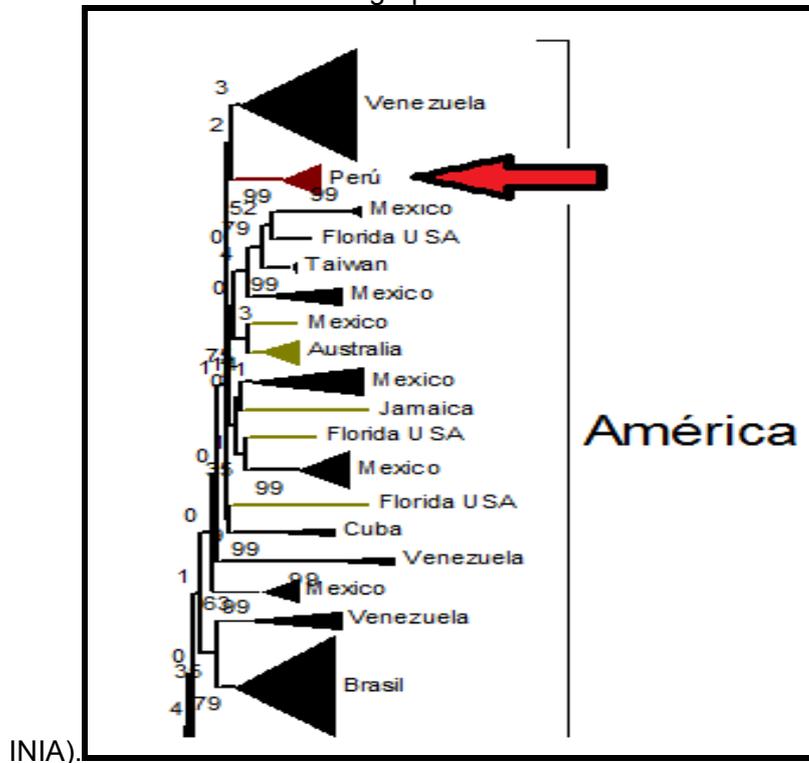


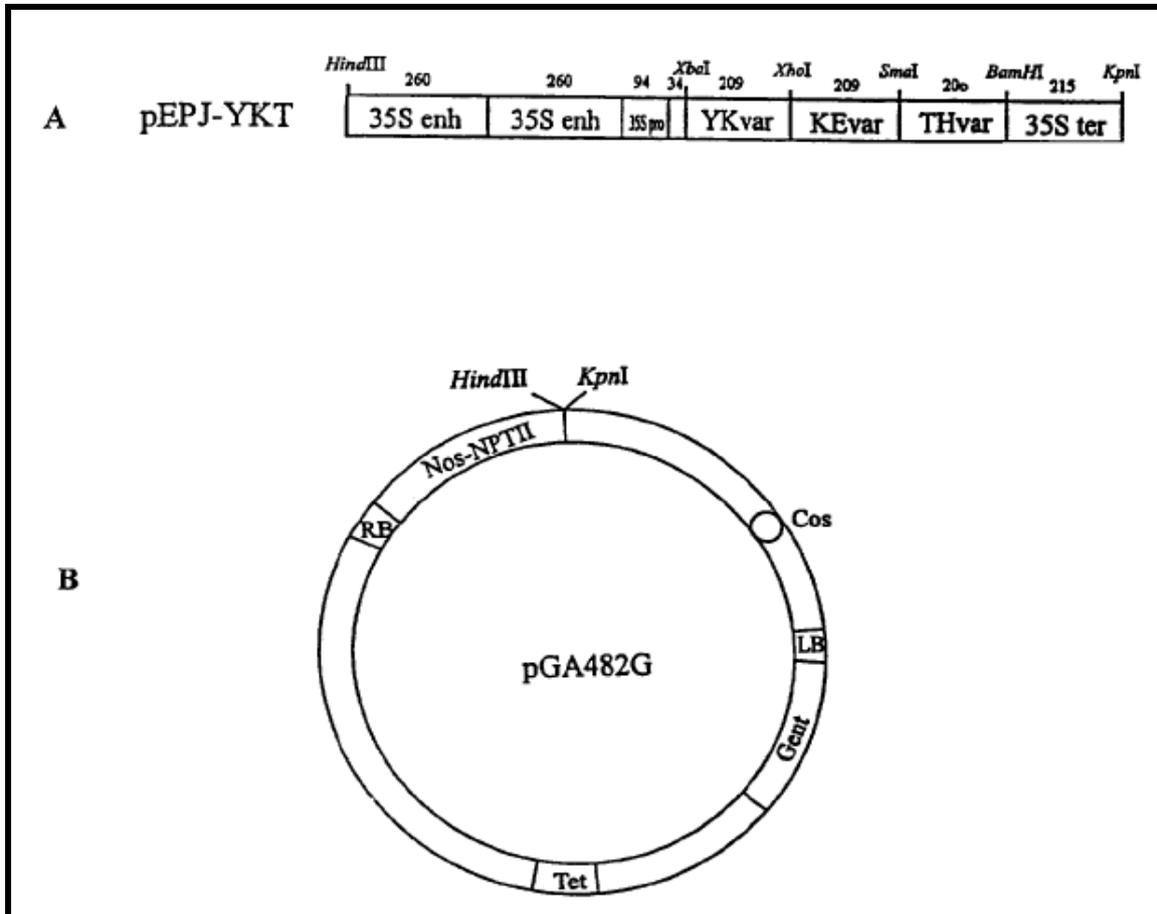
Figura 4: Relaciones biogeográficas entre las secuencias de la CP del PRSV peruano y otras cepas del Continente Americano. Se puede observar que las cepas del Perú forman un grupo diferenciado (Cortesía del



INIA).

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 5: Construcción posiblemente similar al vector pINIA001 del INIA (Gonsalves *et al.*, 2006).



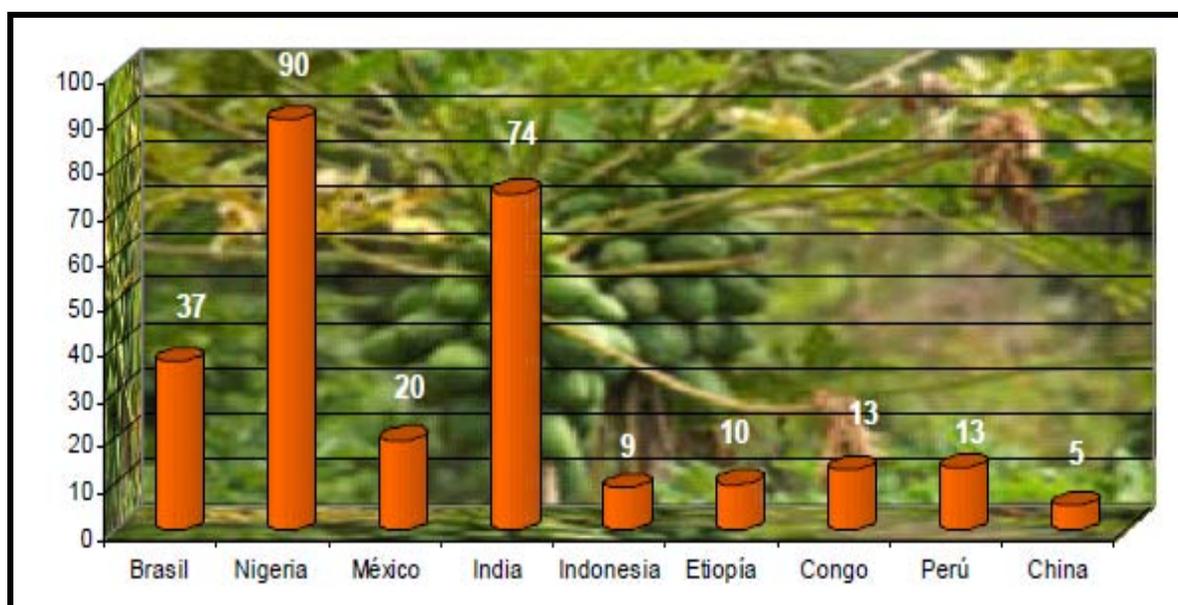
Nota: No incluido el constructor del INIA (Perú) por aspectos de Copyright.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 6: Superficie Mundial cosechada de papaya en miles de hectáreas entre los años 1997 y 2007. Fuente FAO (2008).

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Promedio	%	TMAC
Brasil	39	40	39	40	35	36	36	34	33	37	37	37	10.30	-0.69
Nigeria	82	90	90	90	90	91	91	91	92	92	93	90	25.16	1.21
México	20	20	18	17	22	20	19	21	19	19	21	20	5.47	0.61
India	70	60	60	70	70	80	80	80	80	80	80	74	20.57	1.34
Indonesia	10	10	10	9	10	10	9	9	8	8	8	9	2.58	-2.24
Etiopía	0	9	9	10	11	11	11	13	13	11	11	10	2.75	
Congo	13	14	13	13	12	12	13	13	13	13	13	13	3.59	-0.31
Perú	13	14	14	13	12	12	14	13	14	14	14	13	3.72	0.56
China	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	1.50	2.82
Subtotal	252	260	258	267	268	279	278	280	276	279	282	271	76	1.13
Resto	74	75	81	82	89	92	103	91	93	91	89	87	24	1.97
Mundial	326	336	338	350	357	370	381	371	368	371	371	358	100	1.32

Figura 7: Superficie Mundial cosechada promedio de papaya en miles de hectáreas. El Perú tiene 13 000 hectáreas. Fuente FAO (2008).



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 8: Volumen de Producción Mundial de papaya en miles de toneladas. Fuente FAO (2008).

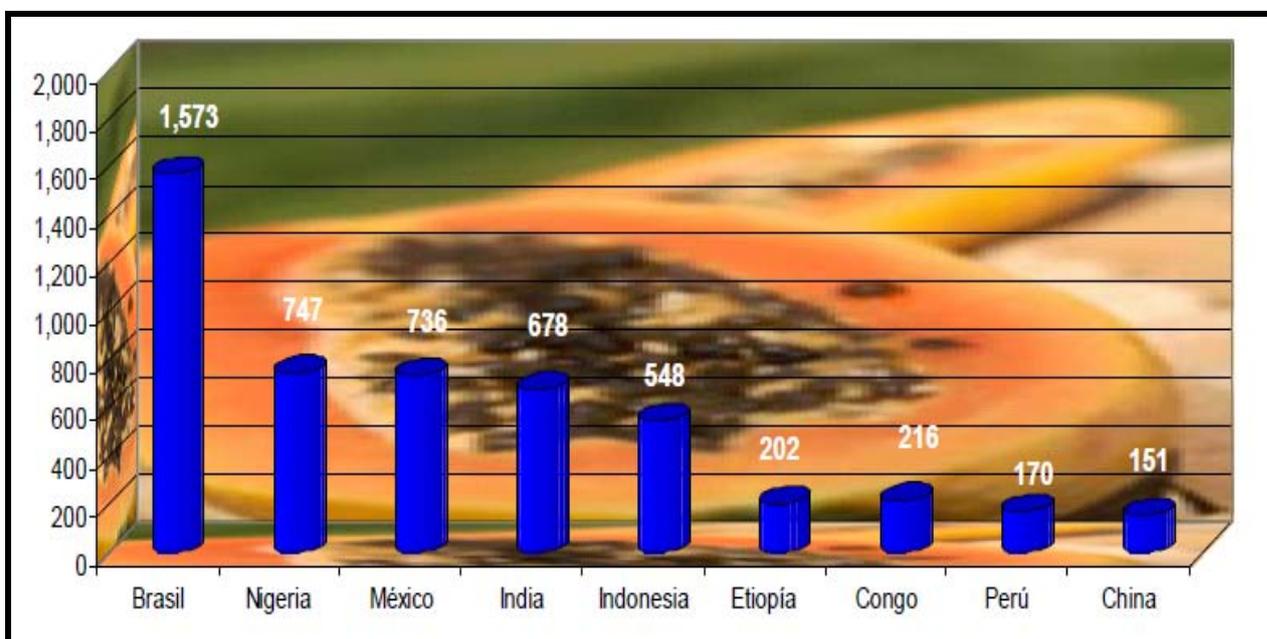


Figura 9: Rendimiento Mundial de papaya en Toneladas/Hectárea entre los años 1997 y 2007. Fuente FAO (2008).

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Promedio TMAC	
Brasil	33.094	34.685	36.054	35.812	42.192	44.846	47.307	46.809	48.337	51.777	51.717	42.966	4.57
Nigeria	8.232	8.344	8.311	8.311	8.311	8.297	8.297	8.297	8.257	8.250	8.270	8.289	0.05
México	30.154	29.225	32.377	39.198	39.268	42.855	38.597	38.218	37.476	41.184	43.895	37.495	3.83
India	8.857	9.700	11.000	10.000	10.000	8.750	8.750	8.750	8.750	8.750	8.750	9.278	-0.12
Indonesia	35.921	49.560	45.245	48.301	48.793	58.871	67.348	80.207	69.635	80.221	80.625	60.430	8.42
Etiopía		20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.719	20.800	20.800	20.909	20.909	20.414	
Congo	16.840	16.840	16.667	16.841	16.840	16.841	16.074	16.840	16.841	16.841	16.538	16.809	-0.18
Perú	10.954	11.924	12.365	12.067	13.618	14.129	13.972	14.419	12.531	12.531	12.500	12.819	1.33
China	35.137	27.645	33.768	29.120	29.592	30.825	28.644	26.923	19.632	26.541	25.000	28.439	-3.35
Subtotal	16.169	17.203	17.760	17.635	18.858	19.041	19.102	19.350	18.315	19.935	20.190	18.505	2.25
Resto	13.324	13.272	13.961	13.884	14.034	14.258	15.398	14.174	14.195	14.826	13.923	14.114	0.44
Mundial	15.526	16.321	16.854	16.751	17.660	17.856	18.105	18.080	17.279	18.676	18.681	17.435	1.87

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 9: Principales países exportadores de papaya (en toneladas promedio entre los años 1995 y 2005). Fuente FAO (2008).

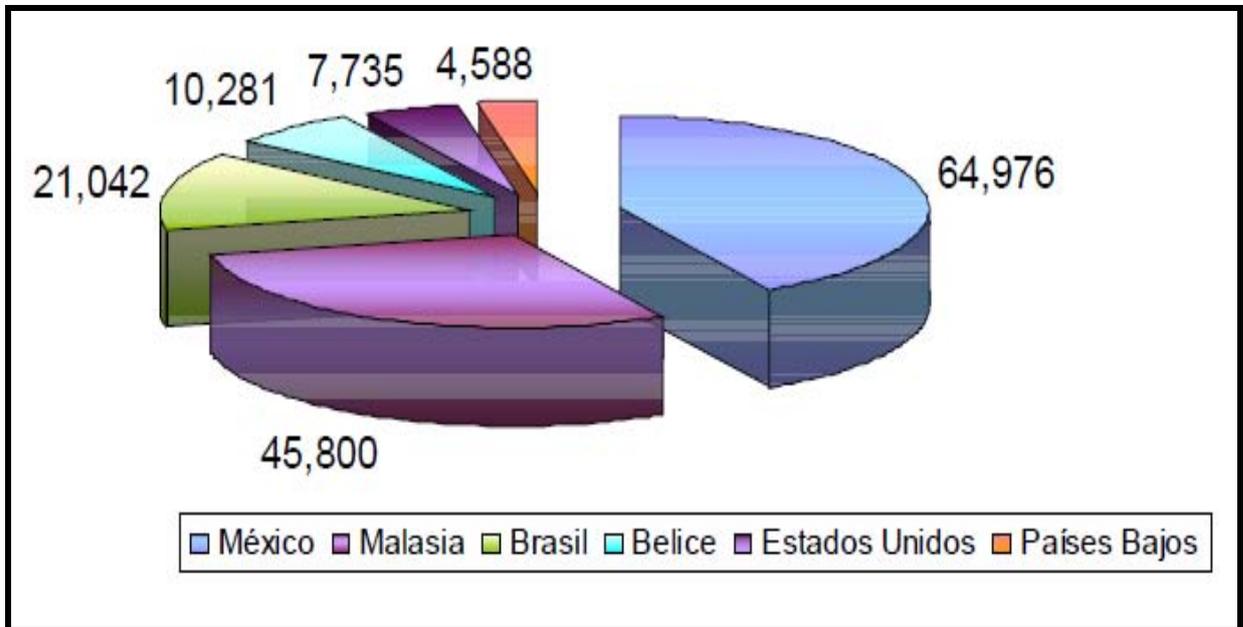
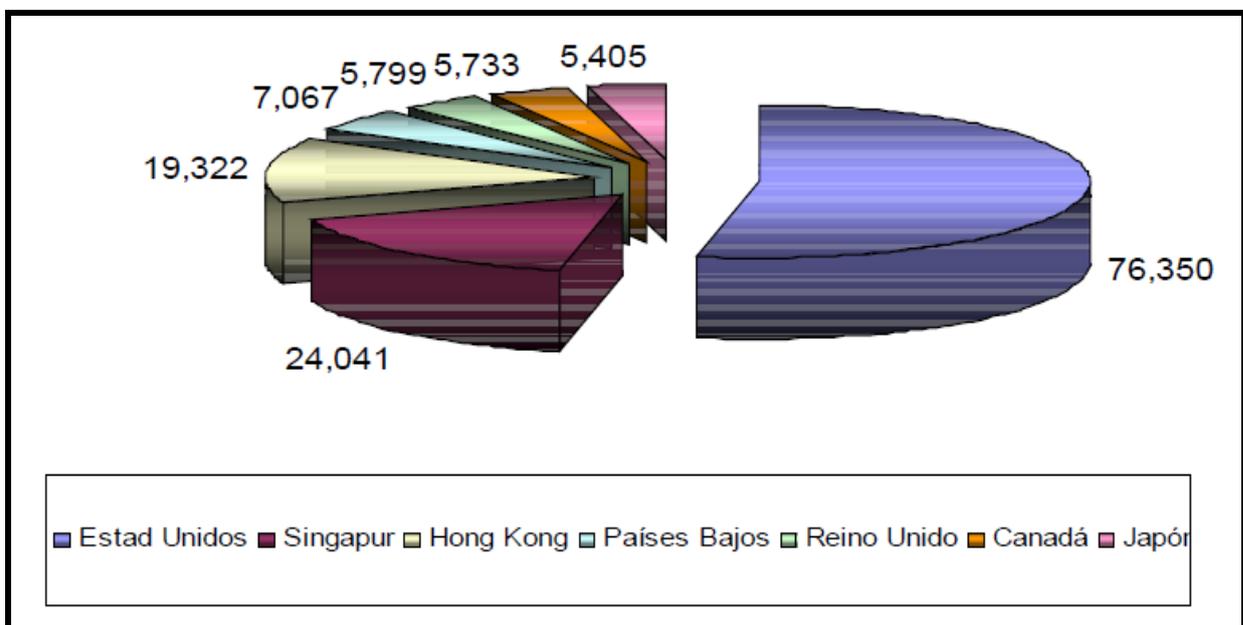


Figura 10: Principales países importadores de papaya (en toneladas promedio entre los años 1995 y 2005). Fuente FAO (2008).



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 11: Principales problemas técnicos económicos que enfrentan los productores en el cultivo de papaya (Tomado de Guzmán y colaboradores, 2008).

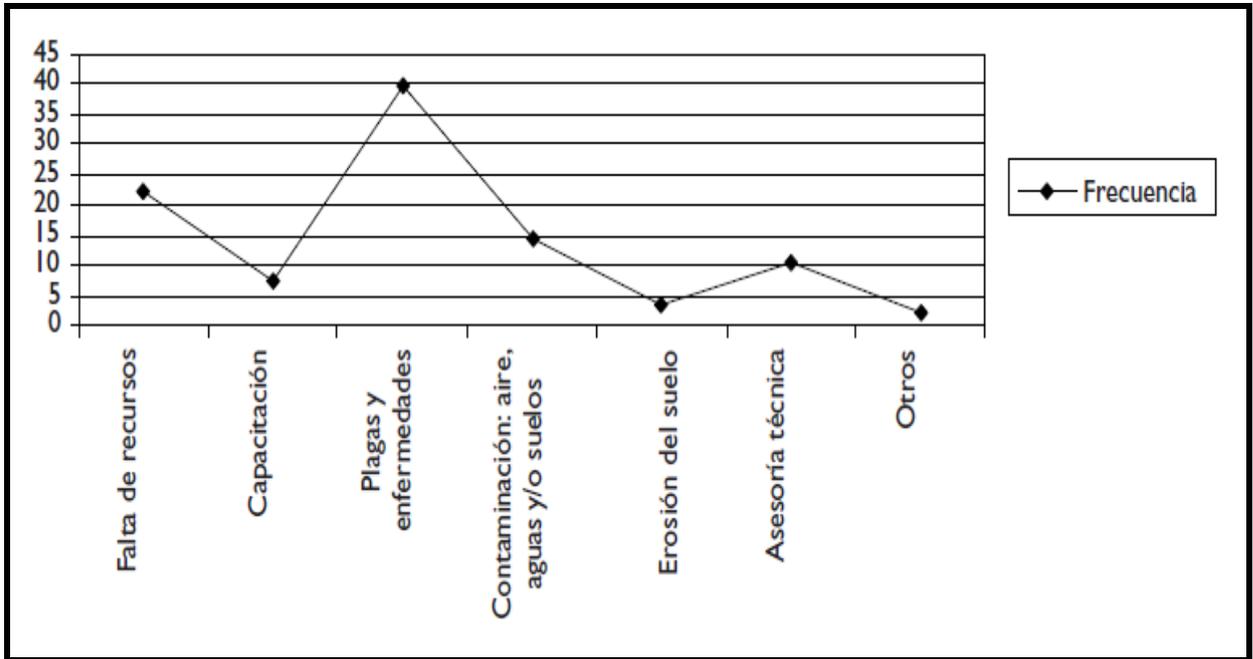
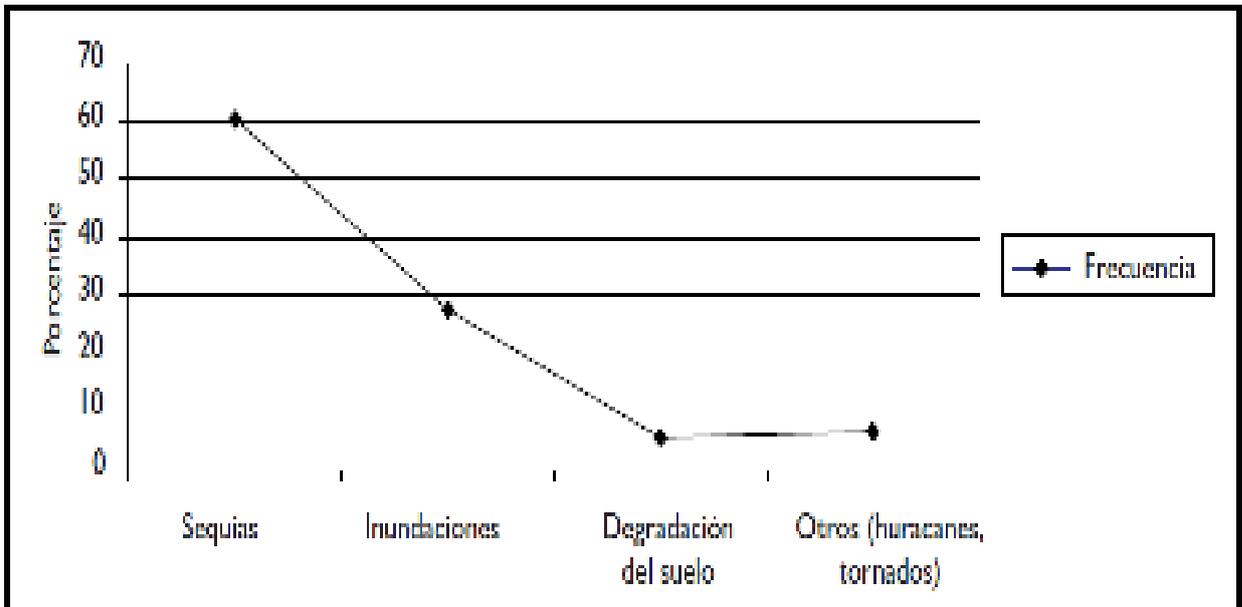
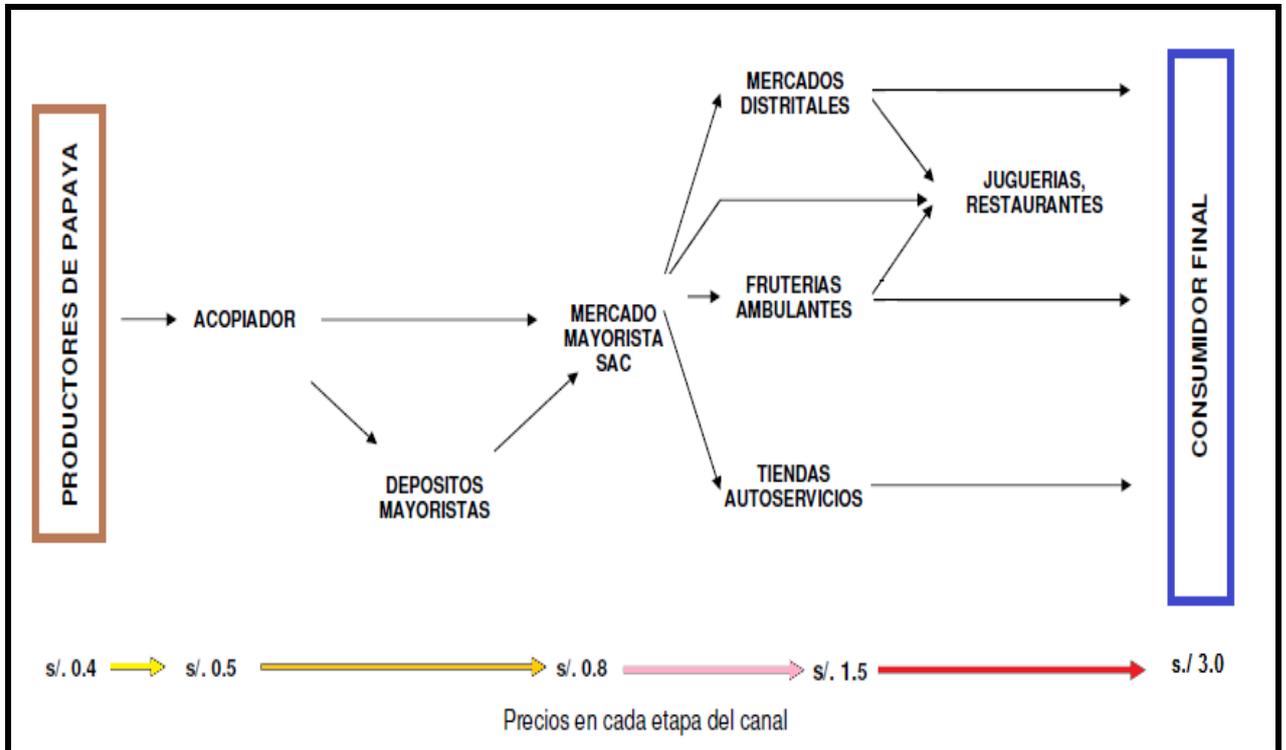


Figura 12: Principales problemas ecológicos enfrentan los productores en el cultivo de papaya (Tomado de Guzmán y colaboradores, 2008).



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

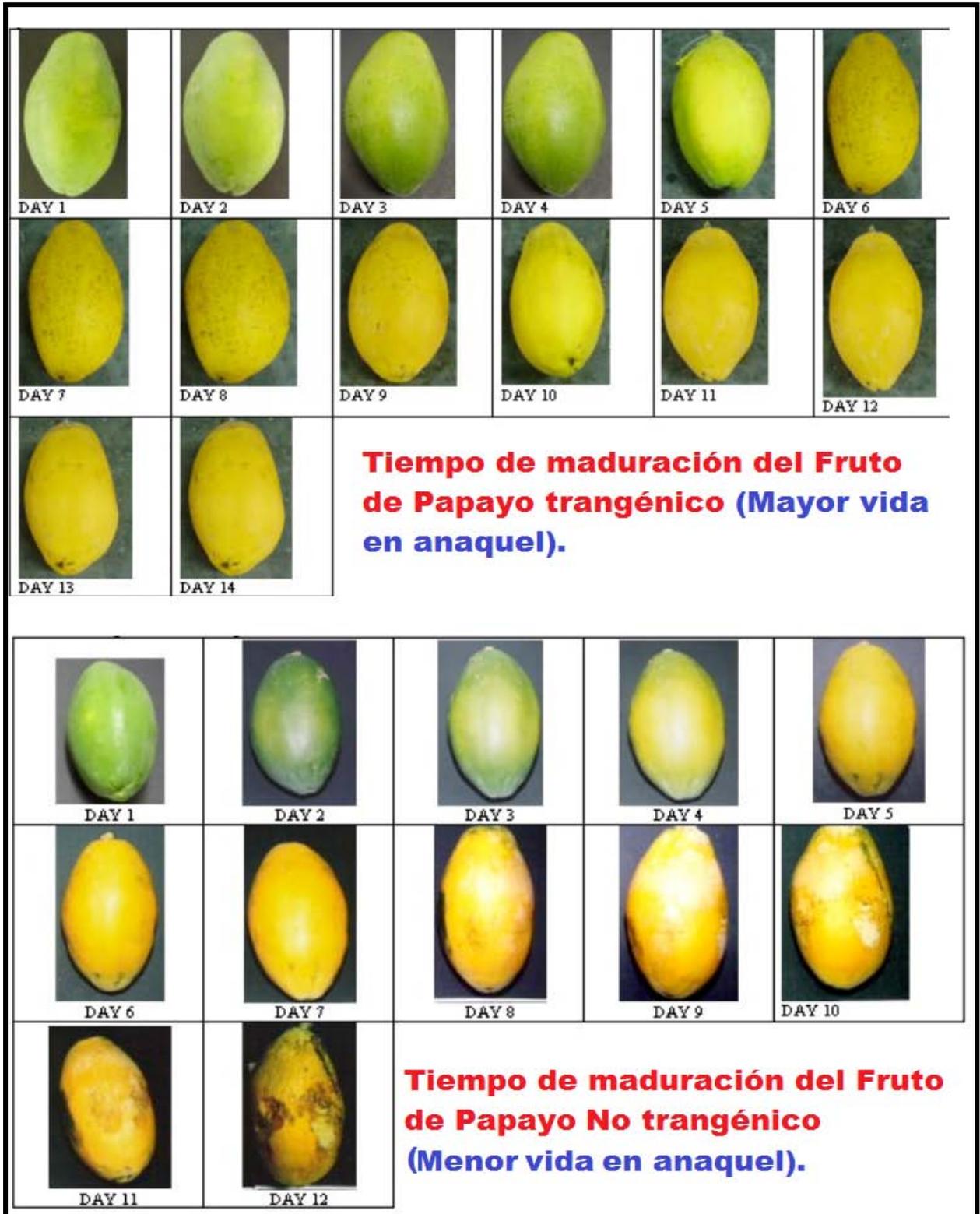
Figura 13: Precios de la papaya nacional a través de la cadena de producción (Actualizado al 2010 por el autor). (Fuente:



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 14: Una potencial aplicación sobre el rendimiento de la papaya que puede ser resuelto con la transgénesis, el retardo en la maduración del fruto de la papaya transgénica (Foto Superior) versus la papaya no transgénica (Foto Inferior) (Tomado de Laurena, 2010).

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Figura 15: Probable ruta migratoria del PRSV en el Perú (Creado por el autor)



NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

LISTA DE TABLAS

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Tabla 1: Vacíos tecnológicos detectados en el desarrollo de la papaya transgénica en el Perú (Elaborado por el autor).

Tecnológico	
Vacío	Objetivo
Complementar el análisis de detección para identificar otros genes del constructor como son: kanamicina, npt II, nos y otros.	Poder detectar otros tipos de papayas transgénicas introducidas al país con variantes en sus constructos.
Se debe implementar la detección de las posibles variantes del promotor 35S de las cepas peruanas de PRSV.	El promotor 35S es uno de los principales genes utilizado para detectar variantes de los transgénicos por lo que también deberían ser estudiados para ser detectadas en forma rápida y segura.
Realizar el secuenciamiento de los genes de las cepas virales amplificadas.	Como una forma de control de la calidad antes de estandarizar el proceso de detección en forma masiva en el laboratorio y tener un banco de datos.
Fortalecer la política institucional en materia de propiedad intelectual en relación a los OVM's desarrollados en el Perú.	Prevenir que la exportación de papaya transgénica a otros países donde existan patentes podrían representar un riesgo y una potencial demanda contra el exportador peruano.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Tabla 2: Vacíos socioeconómicos detectados en el desarrollo de la papaya transgénica en el Perú (Elaborado por el autor).

Socioeconómico	
Vacío	Objetivo
Identificación de la problemática real del agricultor y productor papayero que desee incorporar cultivos de papaya transgénica.	Evitar potenciales conflictos socioculturales por el uso de papaya transgénica.
Evaluar las condiciones agronómicas y organolépticas de los frutos de las papayas transgénicas y compararlas con controles no transgénicos.	Permitirá adquirir una mayor confianza del agricultor, productor y consumidor de éste primer producto transgénico peruano destinado al consumo humano.
Se debe hacer estudios biotecnológicos que intenten abarcar no sólo germoplasma de papayas peruanas comerciales de exportación, sino involucrar germoplasma de papaya criolla o nativizada para aprovechar la diversidad genética local.	Para incrementar y mejorar el mercado interno así como para conservar el patrimonio natural existente y ayudar al pequeño agricultor. Y tal vez, obtener alguna variedad peruana como en el caso de Cuba con la variedad "Maradol".
Falta comprender bien los cambios en las preferencias del consumo de papaya en los países importadores y a nivel local.	En el caso de la papaya, la predominancia de sólo algunas variedades de papaya deberá obedecer más a las tendencias de los consumidores. Sin descuidar lo relacionado con la diversidad genética nacional.
Difusión de información objetiva sobre los beneficios y riesgos de la biotecnología moderna.	Aprovechamiento y uso sostenible de nuestra biodiversidad haciendo uso de la biotecnología convencional y moderna.

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Tabla 3: Vacíos ecológicos detectados en el desarrollo de la papaya transgénica en el Perú (Elaborado por el autor).

Ecológico	
Vacío	Objetivo
Contar con un mapa nacional de distribución y zonificación de las variedades de papaya peruana.	Permitirá utilizar el potencial del recurso genético nativo de la papaya con potencial futuro (Genes promisorios).
Se podría realizar un estudio biogeográfico a nivel genético molecular del PRSV en el Perú.	Poder determinar el origen y dispersión en el tiempo del PRSV y sus proyecciones nacionales.
Los genes de antibióticos como la kanamicina deberán ser sustituidos con el tiempo por otros genes alternativos para el diseño del constructor.	Poseen mucha “controversia” de poder pasarse a otros organismos no blancos. El desarrollo de transgénicos exentos de éstos genes marcadores, ayudaría a eliminar tales preocupaciones y podría contribuir a la aceptación pública de cultivos transgénicos.
Pasar de las pruebas de invernadero a las pruebas de campo bajo un sistema de análisis de riesgos.	Verificar el comportamiento de las plantas transgénicas bajo condiciones naturales y poner a punto las condiciones de bioseguridad pertinentes.
Someter las plantas transgénicas obtenidas a estar en contacto con otras posibles cepas virales peruanas de diferentes regiones.	Verificar su grado de resistencia en otras regiones peruanas afectadas por el PRVS.

Tabla 4: Principales fortalezas y debilidades del cultivo de papaya transgénica en el Perú (Elaborado por el autor).

Fortaleza
Se cuenta con un laboratorio que permite la detección rápida y segura de papaya transgénica de la papaya no transgénica (INIA).
Las primeras cepas de PRSV analizadas en el Perú evidenciaron no ser homogéneas y/o similares a las cepas aisladas otros países del Caribe como México y Venezuela, USA y Taiwan, lo que abre la perspectiva particular en el caso de la papaya peruana que el aplicar métodos de protección cruzada para usar los materiales transgénicos resistentes de otros países no serían eficaces. Por lo que debe adoptarse medidas particulares para el caso de Perú asegurando la transformación de papayas utilizando secuencias de cepas virales nacionales.
El caso de la papaya transgénica peruana, hasta el momento constituye el primer ejemplo de la aplicación biotecnológica moderna desarrollada por una entidad del estado peruano para dar solución a problemas reales que existen en la producción agrícola, haciéndonos menos dependiente de este tipo de tecnología originaria de los países desarrollados.
Con el desarrollo tecnológico implementado actualmente se podría empezar a desarrollar estudios para la aplicación de la biotecnología moderna en otros cultivos que también son atacados por el PRVS, como es el caso de las cucurbitáceas (sandías, melones, etc.)
Debilidades
A nivel mundial existen países que tienen rendimientos promedios por hectárea superiores al de Perú. Por lo tanto, existe una gran necesidad de mejorar nuestra productividad a corto plazo, más que elevar la producción en sí puesto que no se aumenta la frontera agrícola de la misma.
Se cuenta con poco o ningún tipo de estudio molecular con las papayas naturalizadas peruanas y/o silvestres que pudieran tener genes de resistencia a otras enfermedades. O tal vez algún potencial de mayor rendimiento u otras cualidades aún desconocidas.
Se debe hacer mayor énfasis en la aplicación de la biotecnología moderna para solucionar el principal problema fitosanitario de la papaya peruana a corto plazo que es el PRSV y que impide que se exporte a los principales países importadores como USA y otros (Caso del mango a China).
Se debe mejorar la percepción pública hacia los OVM, puesto que a pesar de poder obtener un producto de mejor calidad y demás cualidades (inocuidad a la salud humana y a la biodiversidad). No podrá ser empleado si la percepción pública es contraria al consumo de un OVM.
Potencialidades
La procesos biotecnología moderna con la producción de papayas transgénicas abre la posibilidad de aumentar la productividad de la papaya estancada hace diez años en aproximadamente 12.8 Toneladas/Hectárea; y además sin aumentar la frontera agrícola, evitando la actual deforestación de los bosques amazónicos por parte de los productores de papaya, que van talando bosque para instalar sus plantaciones y escapar del ataque del PRSV o abandonando el cultivo de papaya por otros cultivos alternativos como la siembra de plátano.
Con la información y tecnología disponible se podría dar a un programa de mejoramiento genético en papaya peruana, con la posibilidad de encontrar materiales locales naturalizados y/o híbridos que presentaran buenas características agronómicas regidas por genes de interés

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

agronómico como son: porte bajo, poca o ninguna carpeloidía de estambres, baja o ninguna esterilidad femenina, resistencia al transporte, buen color y sabor, precocidad en la producción, tiempo de vida en anaquel y tolerancia a la virosis.
Se ha logrado clonar la variante peruana del gen del virus PRVS para obtener papayas transformadas resistentes a las cepas peruanas lo que es recomendada a nivel científico e internacional como paso fundamental de aplicación nacional.
Se podría iniciar investigaciones en otros virus que afectan a la papaya como son: El PapMV (Virus Mosaico de la papaya), el virus de Mosaico del Tabaco y el Ratovirus.
Abre la posibilidad de realizar investigaciones en otros genes de interés productivo como ACC synthase y ACC oxidase (acs2) involucrados en la maduración del fruto y en el sabor y aroma.

Tabla 5: Otras principales enfermedades provocadas y/o transmitidas por insectos al cultivo de papaya aún no resueltas fitosanitariamente (Elaborado por el autor).

Enfermedad	
Insecto	Daño
Piojo harinoso (<i>Planococcus sp.</i>).	Clorosis y enrollamiento de los bordes foliares; en frutos en desarrollo o verdes se aprecian escurrimientos de látex, dando un aspecto sucio y manchado que demerita su calidad.
Chicharrita verde (<i>Empoasca sp.</i>)	Manchas amarillas diminutas en las hojas.
Pulgones <i>Myzus persicae</i> , <i>Rhopalusiphum maidis</i> , <i>aphis spp.</i>	Trasmisores del virus del mosaico y mancha anular, distorsión y mancha anular entre otras. Dichas enfermedades pueden reducir la producción en un 80%.
Gusano de cuerno (<i>Erinnyis ello</i>)	Es el defoliador más importante del papayo.
La mosquita blanca (<i>Aleurothirus sp.</i>)	Trasmite enfermedades virales.
Virus	Daño
Virus del cogollo arrepollado (Bunchytop).	Las hojas se deforman y se reducen, los peciolo crecen muy lentamente, se hacen rígidos y casi horizontales. El crecimiento del ápice se inhibe y finalmente la planta muere. → No hay resistencia natural.
Virus del Mosaico del papayo	Este virus es transmitido mecánicamente o por áfidos. Los síntomas se presentan como coloraciones claras alrededor de las nervaduras, arrugamiento y encurvamiento hacia abajo de la lámina foliar, después desarrolla un moteado verdoso. → No hay resistencia natural.
Otros virus que atacan al papayo conocidos son: del enrollamiento de la hoja, virus del marchitamiento y manchado del tomate y virus del arrugamiento amarillo.	

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Tabla 6: Principales variedades de papaya existentes y sus características (Elaborado por el autor).

Variedad Tipo Solo 5 o Solo 8 (Hawaiana)		
Característica del Fruto	Ventaja agronómica	Enfermedades
Posee frutos pequeños y dulces de 500 a 1000 gramos.	Muy comercial antes de los años 70.	Poca resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Kapoho Solo (Hawaiana)		
Posee frutos pequeños y dulces de 500 a 1000 gramos, su pulpa es de color amarillo-naranja.	Tolerancia a la sequía.	Poca resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Waimanalo Solo (Hawaiana)		
Tiene una fruta 50% más grande que las demás variedades Solo.	Se caracteriza por su precocidad.	Tolerancia al quemado de frutas.
Variedad Sunrise (Hawaiana)		
Posee frutos pequeños de 700 gramos, su pulpa es de color rojo-anaranjado.	Su pulpa blanda pero su piel es dura al madurar lo que le ayuda a resistir el deterioro de la fruta en la transportación. Moderada resistencia a las bajas temperaturas y/o poca agua. Posee alto contenido de azúcar.	Poca resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Sunset		
Posee frutos pequeños de 500 gramos, pero su pulpa es rosada.	Su pulpa blanda pero su piel es dura al madurar lo que le ayuda a resistir el deterioro de la fruta en la transportación.	Poca resistencia al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Maradol (Cubana)*		
Posee frutos entre 1.5 a 2.6 Kg. de peso. Presenta un intenso color interior rojo-salmón muy apreciable al consumidor.	Posee una larga vida de anaquel y resistencia al manejo post-cosecha y transporte. Su rendimiento es de 30-35 TM/Hectárea.	Es muy susceptible al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Variedad Tainung 2 (Taiwan)		
Característica del Fruto	Ventaja agronómica	Enfermedades
Posee frutos de 900 gramos, su pulpa es de color anaranjado intenso.	Su cáscara y consistencia permite larga vida de anaquel y resistencia en el transporte. Su producción de fruta es baja.	Es tolerante al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Tainung 5 (Taiwan)		
Posee frutos de 800 gramos, su pulpa es de color rojo-naranja intenso.	Su cáscara y consistencia permite larga vida de anaquel y resistencia en el transporte. Su producción de fruta es baja.	Es tolerante al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Red Lady (Híbrido)		
	Posee producción temprana	Es tolerante al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad Pauna (Peruana)		
Presenta una pulpa con un intenso color interior amarillo-anaranjado.	Variedad enana con buen espesor de pulpa, excelente sabor y aroma. Su rendimiento es de 30 a 40 TM/Hectárea.	Dato desconocido
Variedad Criolla (Peruana)		
Posee fruto de 1.7Kg, su pulpa de color amarillo considerada de regular calidad.	Variedad alta y es la mayormente cultivada en el Perú. Su rendimiento está en 19 TM/Hectárea.	Es muy susceptible al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).
Variedad PTM 331 o "La Chunchita" (Peruana)**		
Posee frutos de 2.8Kg., su pulpa es de color amarillo-anaranjado intenso de buen sabor y aroma.	Variedad semienana. Su rendimiento está entre 25 a 35 TM/Hectárea.	Es tolerante al virus de la mancha anular de la papaya (PRSV).

(*) Variedad también cultivada en el Perú.

(**) Papaya Tingo Maria 331. (IIAP, 2000)

NOTA: La opinión del consultor no refleja necesariamente la posición del Ministerio del Ambiente

Tabla 7: Estimaciones de los principales valores económicos de la producción de la papaya peruana sin PRVS y con PRVS (Elaborado por el autor).

Concepto	Sin PRVS	Con PRVS
(A) Rendimiento Promedio (tonelada/hectárea)	12.8	7.7 (Pérdida del 40%)
(B) Costo de producción por hectárea promedio (S./)*	1 280.00	1 280.00
(C) Ingreso por hectárea (S./)**	5 120.00	3 080.00
(D) Ganancia (S./) (B-C)	3 840.00	1 800.00
(E) Relación Beneficio/Costo (D/B)	3	1.4

(*) = Precio de producción en el campo de S./ 0.1 por papaya de 1Kg (2010).

(**) = Precio de venta en el campo de S./ 0.4 por papaya de 1Kg (2010).