

I. Título del perfil de proyecto propuesto

Innovaciones tecnológicas en el manejo integrado del Cuero de Sapo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz): estrategias para reducir el impacto de la enfermedad por efectos del cambio climático en Colombia, Costa Rica y Paraguay.

II. Antecedentes y Justificación

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) constituye un alimento básico en la dieta de 17.8 millones de personas en el mundo (FAO 2007), además de ser un cultivo industrial con alto potencial que genera ingresos permanentes para pequeños y medianos agricultores, y aporta al desarrollo social de las regiones donde se cultiva.

Entre las características de la yuca se destaca su gran adaptación a condiciones marginales de crecimiento, aspecto relevante para los agricultores que deben afrontar patrones climáticos imprevisibles en los próximos años. El largo ciclo del cultivo de la yuca y su producción en ambientes donde el invierno no interrumpe los ciclos, hace necesario establecer estrategias para mitigar el impacto económico de enfermedades como el Cuero de Sapo (CS), que reporta pérdidas en algunos países de Latinoamérica superiores al 90% (Alvarez et al 2009). El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) es fundamental para la producción de yuca y está basado en una explotación y combinación eficiente de fuentes de resistencia genética.

Existen varias aproximaciones acerca de la mayoría de factores bióticos que pueden afectar la yuca. Una combinación de resistencia genética, control biológico y/o simples prácticas culturales, como la selección de materiales limpios, son suficientes para asegurar un confiable y saludable crecimiento de la planta y una producción competitiva. Sin embargo, con el cambio climático podrían incrementarse los problemas relacionados con enfermedades y plagas, ocasionando pérdidas económicas significativas. Predecir el surgimiento de enfermedades y plagas y el subsecuente daño del cultivo a partir de los posibles cambios en el clima es deseable, pero difícil de obtener. Muchos vectores de enfermedades y sus enemigos naturales benéficos son fuertemente influenciados por el clima. Una acertada predicción del incremento o reducción de las poblaciones en relación con el cambio climático requiere de un largo monitoreo de su incidencia, severidad y de los niveles poblacionales según las condiciones climáticas.

De acuerdo al cuarto reporte del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático –IPCC, por sus siglas en inglés– (2007), la temperatura se incrementó en 0,6 °C en el siglo XX, y el incremento más severo ocurrió entre 1976 y 2000, el nivel del mar aumentó entre 0,1 y 0,2 metros, la precipitación varió en al menos 1% por década, hubo mayor incidencia de eventos extremos de lluvia, entre otras afecciones del sistema atmosférico. Además, el reporte concluyó que en latitudes bajas, donde se incluyen países como Paraguay, un incremento pequeño (1-3°C) podría disminuir los rendimientos de algunos cultivos, pero en el caso puntual de la yuca podría generar condiciones óptimas para el establecimiento de una enfermedad como el CS, teniendo en cuenta que la temperatura es probablemente el factor ambiental más importante influenciando el comportamiento de la enfermedad, su distribución, desarrollo, sobrevivencia y reproducción, factores que en últimas incrementarían las repercusiones económicas del problema. Aunado a todo esto, si el aumento en temperatura es acompañado por extensos periodos de sequía, la actividad de la enfermedad se intensificará y el daño en el cultivo será mayor. El éxito en el control de la enfermedad dependerá, entonces, de un efectivo entendimiento de estas interacciones biótico-climáticas.

En América Latina la yuca todavía es cultivada ampliamente con manejo tradicional y hay gran desconocimiento de los agricultores sobre las enfermedades del cultivo y su manejo integrado. Además, el cambio climático está ocasionando que los vectores de la enfermedad se distribuyan en nichos ecológicos diferentes a los reportados, aumentando el riesgo de diseminación del CS y otras enfermedades.

En Costa Rica se cultivaron 26.526 ha de yuca en 2007, gran parte de la cual se exportó a Estados Unidos y tuvo un rendimiento que alcanzó las 15 t/ha. En el 2008 el área sembrada disminuyó en un 71,6% y el rendimiento fue de 13 t/ha, ocasionando pérdidas económicas significativas en las regiones de mayor importancia de la yuca en este país, donde se benefician alrededor de 2.100 familias. En estas zonas, el CS ha afectado el 35% del área cultivada (Información personal B. Mora, INTA-Costa Rica 2009).

En Colombia, tomando como fuente los datos estadísticos de la agrocadena de Cereales, Avicultura y Porcicultura IICA-MADR (MADR 2007), se observa la yuca como el séptimo cultivo que más empleo directo genera (5,0%), después del café, la caña panelera, el plátano, las flores, el maíz y la papa, además de ubicarse como el sexto cultivo con mayor superficie sembrada en el país (4,6%), después del café, el maíz, el arroz, el plátano y la caña panelera. Según la FAO, en el 2008 el área cultivada en yuca fue de 165.170 ha, área que ha oscilado entre 172.100 ha y 190.200 ha desde 1995, después de alcanzar 207.300 ha en 1990. Los

rendimientos promedio nacionales fueron el 40,35% (11,3 t/ha), de los obtenidos en la India, que registra los mayores rendimientos promedio en el mundo, con 27,9 t/ha. Actualmente en Colombia hay varias zonas con CS como la Costa Norte, Llanos Orientales, Región Amazónica y departamento del Cauca, con fincas que han sido afectadas en su totalidad. Es importante resaltar que esta situación también pone en riesgo el cultivo en países limítrofes como Panamá, desde donde se intercambia material vegetativo sin controles fitosanitarios (Información personal M. De Gracia, IDIAP-Panamá 2010).

Por su parte Paraguay, es el país con mayor consumo de yuca per cápita en el mundo. En el 2008 destinó 300.000 ha para el cultivo de yuca y alcanzó un rendimiento de 16 t/ha, convirtiéndose en el segundo país productor de yuca en América Latina, después de Brasil (FAO 2010). En los últimos años se ha reportado la enfermedad del CS en los cultivos, problema que de no manejarse adecuadamente, amenazará la sostenibilidad de la producción y la seguridad alimentaria de la región (Información personal G. M. Vega, CODIPSA-Paraguay 2010).

Un manejo integrado del CS de la yuca en estas regiones permitirá disminuir y prevenir el impacto de esta enfermedad, que bajo las condiciones cambiantes del clima podría diseminarse por todo Latinoamérica. En Venezuela, por ejemplo, se reportó por primera vez la enfermedad con una incidencia superior al 10% en los estados de Aragua y Barinas, situación relacionada con el incremento de 2 °C en la temperatura promedio de la temporada seca (Chaparro-Martínez & Trujillo-Pinto 2009).

A través de este proyecto se fortalecerán las cadenas productivas y favorecerá su sostenibilidad a través de la participación activa de todos sus actores, ofrecerá acompañamiento para la creación de empresas rurales para producción de semilla vegetativa certificada y participación de comercializadores y procesadores de yuca en la identificación de nuevas variedades resistentes a la enfermedad con aceptación en el mercado.

III. Fin del proyecto

Fortalecer las cadenas de valor, mejorando el bienestar socioeconómico de los productores de yuca y disminuyendo la enfermedad del CS en Colombia, Costa Rica y Paraguay, a través de la implementación masiva de tecnologías innovativas que permitan optimizar la productividad, reducir el impacto del cambio climático sobre el cultivo, proteger la seguridad alimentaria y el ambiente, aplicando un esquema de investigación con participación de Universidades, productores y procesadores de yuca.

IV. Propósito

Los productores de yuca en Colombia, Costa Rica y Paraguay implementan un sistema de producción de semilla certificada, identifican fuentes de resistencia genética a CS y utilizan extractos vegetales e inductores de resistencia como una herramienta más económica y que genera mayor rendimiento para sus cultivos. Los investigadores obtienen un estudio epidemiológico de la enfermedad en diferentes altitudes y latitudes, utilizando mapas de predicción e identifican el vector asociado con la enfermedad y su distribución espacial en los tres países. Estos logros tienen un impacto ambiental favorable, contrarrestando el efecto tóxico de los agroquímicos, protegiendo la salud de productores y consumidores, ofreciendo un producto más sano y de mejor calidad, que compete en mercados internacionales. Adicionalmente se hacen talleres de evaluación y seguimiento con los productores para evaluar la sostenibilidad económica y financiera de las tecnologías implementadas.

V. Componentes

Se implementará un sistema de producción de semilla vegetativa certificada mediante el uso de un sistema *in vitro* y de cámaras térmicas, que facilitará a los productores multiplicar semilla sana a bajo costo. Se evaluará el efecto de micro-elementos y extractos vegetales como fertilizantes sobre el comportamiento de la enfermedad en variedades locales susceptibles. El modelamiento climático permitirá un completo estudio epidemiológico de la enfermedad e identificará los posibles vectores naturales que la transmiten, además se seleccionarán genotipos de yuca resistentes o tolerantes, facilitando un manejo eficiente del CS en las zonas productoras evaluadas.

VI. Resultados Esperados

Al finalizar el primer año de ejecución del proyecto, profesionales estarán capacitados en detección de fitoplasmas y virus mediante PCR y PCR en tiempo real y se habrá implementado la producción de plantas *in vitro* como sistema de obtención de material genético puro y plantas libres de CS. Durante el segundo y tercer

año, se implementará el sistema de producción de semilla vegetativa certificada mediante el uso de cámaras térmicas, con supervisión de las entidades de control fitosanitario en cada uno de los tres países. Además, se hará el reporte de insectos portadores de fitoplasmas y virus asociados a la enfermedad y se presentarán mapas de predicción del comportamiento de CS para los años 2020 y 2050. Estos mapas serán el resultado del modelamiento climático de la enfermedad basado en el modelo de nicho ecológico MaxEnt (Phillips & Dudik 2008). Se hará separadamente para cada uno de los países involucrados en el proyecto. Se describirá el plan de manejo de fertilizantes alternos para reducir la severidad de la enfermedad, con base a los resultados obtenidos en los ensayos de cada región. Al final del proyecto se reportarán las variedades seleccionadas, con características agronómicas deseables resistentes a CS. Basados en los modelos de predicción, se contará con alternativas de manejo integrado para la enfermedad, que permitirán a los productores aumentar productividad, reducir costos en cultivos tecnificados y sustituir agroquímicos, con una reducción de contaminantes que beneficiará a cultivadores, pobladores cercanos a los cultivos y consumidores. Los cultivos no tecnificados podrán contar a mediano plazo con materiales productivos y resistentes, así como con tecnologías innovativas de manejo integrado de la enfermedad, que les permitan mejorar sus ingresos. Se espera que se beneficien potencialmente más de 2.500 agricultores a través de mayores ingresos, se genere empleo para los habitantes de las regiones productoras y se reduzcan contaminantes en la yuca y el ambiente. Con los resultados obtenidos se apoyará el cultivo de yuca en otras regiones y servirán de referencia metodológica para apoyar el mejoramiento del estado fitosanitario del cultivo en países como Venezuela y Panamá. Por otra parte, se fortalecerán capacidades profesionales, mediante la formación de estudiantes a través de tesis de grado. Se harán días de campo en zonas productoras de cada país y se distribuirán folletos, con el fin de capacitar a productores y técnicos en el reconocimiento y manejo de la enfermedad.

VII. Actividades y Metodologías

El componente espacial del proyecto consistirá en evaluar la incidencia probable del cambio climático sobre la distribución potencial del CS bajo el escenario de emisiones de gases efecto invernadero A1B, para dos épocas (2020 y 2050) y usando un juego representativo de resultados de modelos de clima global (GCM, por sus siglas en inglés). Por su parte, para la obtención de semilla certificada libre de patógenos se fortalecerá en cada país un sistema de producción de plantas *in vitro* mediante una técnica de propagación a través de yemas apicales que permite la propagación cada 45 días a escala de 1:3-4 dependiendo del clon. Así mismo, se trabajará con un sistema de escala masiva (RITA®) que permite mejoras en la tasa de propagación de 1:6 a 1:23 dependiendo del clon (Escobar 2003). Se evaluará una metodología basada en cámaras térmicas las cuales permitirán una producción de semilla vegetativa de alta calidad, libre de problemas fitosanitarios y con garantía de su identidad genética, a un bajo costo, más rápido y en grandes volúmenes, pudiendo satisfacer las necesidades de producción de material limpio y teniendo en cuenta las características biogeográficas de cada región. A través de los agricultores, se promoverá la creación de empresas rurales para la producción de semilla certificada. Para el establecimiento de un protocolo que certifique la semilla, se implementará la técnica de PCR y PCR en tiempo real, con el fin de aumentar la sensibilidad y rapidez en la detección de patógenos asociados a la enfermedad.

Partiendo de los mapas de predicción, se estudiará la epidemiología de la enfermedad en cada región, identificando específicamente a los vectores y huéspedes alternativos que permitan evaluar el o los posibles vectores naturales de CS, colectando homópteros en lotes de yuca y malezas aledañas. Se capturarán especímenes vivos y se alimentarán sobre medio artificial, para detectar y caracterizar el patógeno mediante PCR en tiempo real. Posteriormente se identificarán las especies que hayan dado resultados positivos al CS. Se monitorearán quincenalmente, para determinar incidencia, frecuencia y la abundancia de especies posibles vectores en los lotes de yuca y en malezas dentro y fuera de los cultivos. Al final se hará una colección de referencia de insectos vectores por localidad y hospederos.

El efecto de micro-elementos fertilizantes y extractos vegetales sobre el comportamiento de la enfermedad en variedades locales susceptibles se evaluará en parcelas demostrativas del cultivo, durante un máximo de dos ciclos a escala comercial. Se sembrará un ensayo por cada localidad seleccionada, con dos a tres variedades regionales con la implementación de modelos de fertilización desarrollados por el Programa de Patología de Yuca del CIAT (Fertilización con ácidos húmicos y fúlvicos: lixiviado de compost de raquis de plátano y otros disponibles en cada zona; fertilización con fosfito de potasio y microelementos como Boro, Manganeso, Silicio y Calcio como elementos relacionados con resistencia a enfermedades).

En estudios de campo realizados en CIAT, se ha demostrado que existen diferentes niveles de tolerancia a la

enfermedad entre las variedades mejoradas-élite de yuca con potencial para consumo humano, la agroindustria de almidón y bioetanol. Basados en los grupos de variedades con mejor adaptabilidad, y de acuerdo con los mapas de predicción y el modelamiento climático de las zonas, se realizarán ensayos de campo con variedades tolerantes y/o resistentes, permitiendo observar si existe alguna diferencia en el porcentaje y tiempo de transmisión de la enfermedad entre las variedades, evaluando su efecto en la epidemiología de la enfermedad. Una vez se analice cuáles variedades serán las más adecuadas se procederá a realizar un cultivo tipo comercial para la obtención de semilla y se procederá a la multiplicación masiva de material de siembra sano. Se seleccionarán algunas variedades de interés para cada región y se sembrará un lote aislado con semilla certificada libre de la enfermedad para posteriormente ser distribuida en las zonas productoras.

Se analizarán los resultados obtenidos de los diferentes ensayos para realizar la evaluación económica teniendo en cuenta los parámetros de ausencia o presencia de síntomas de la enfermedad, altura, ramificación y vigor de las plantas para cuantificar la cantidad de semillas que se obtienen por planta, producción obtenida por planta para evaluar rendimiento promedio por variedad; cálculo de los costos de producción de semilla, cantidad de semilla obtenida a partir de cámaras térmicas, impacto de la divulgación del conocimiento de la enfermedad y la forma de controlarla para evitar su diseminación en estas zonas y medir el impacto económico y social en el uso de semilla certificada.

Finalmente, teniendo en cuenta que existen todavía muchas dudas y desinformación con respecto a la enfermedad, se impartirá al sector agropecuario charlas informativas del manejo del CS. Esto se logrará mediante la realización de jornadas culturales con agricultores y técnicos en días de campo y talleres en diferentes zonas productoras de cada país. Se conformará un equipo de personal con experiencia en la producción de yuca en las zonas de ejecución del proyecto para que orienten reuniones de campo de corta duración acerca de la manera de conseguir los mejores resultados en la propagación de material de yuca para la obtención de cultivos sanos y productivos. El proyecto, con base en los objetivos específicos a lograr, establecerá una batería de indicadores de monitoreo y evaluación de la sostenibilidad económica del proyecto y sus resultados.

VIII. Articulación entre el consorcio y con otros actores

La ejecución del proyecto, además de los agricultores y procesadores de yuca, será realizada por un equipo de investigadores que incluye fitomejoradores, entomólogos, fitopatólogos, analistas espaciales (geógrafos) y economistas, expertos en cultivo de yuca de centros de investigación, empresas y universidades de Colombia, Costa Rica y Paraguay. Los agricultores participarán en las selecciones de clones élite de yuca resistentes a CS (AMUC, APROYSA), conjuntamente con los procesadores (PCI, CODIPSA) e investigadores de CIAT, Universidad de Córdoba, FIDAR (Colombia), INTA (Costa Rica) y DIA (Paraguay). Los productores también participarán en las evaluaciones en campo de las alternativas de manejo fitosanitario y se capacitarán en tecnologías de manejo integrado de plagas y enfermedades. Las empresas líderes jugarán un papel clave en la evaluación de los materiales en los mercados de interés y en la toma de decisiones durante la implementación del proyecto. Para la ejecución de las actividades del proyecto las universidades y centros de investigación de los tres países participarán con infraestructura, investigadores, técnicos y estudiantes. El tiempo de dedicación del equipo executor principal será del 70% del total del proyecto, las otras entidades co-ejecutoras serán responsables del otro 30%. El CIAT, como investigador líder del consorcio aportará la tecnología *in vitro* y cámaras térmicas, capacitará a los profesionales en detección de fitoplasmas y virus mediante PCR y PCR en tiempo real y llevará a cabo la identificación de los vectores. A través de DAPA, el CIAT también evaluará la incidencia probable del cambio climático sobre la distribución potencial del CS. Con la respectiva supervisión de la organización líder y FIDAR, el INTA, DIA y la Universidad de Córdoba se encargarán de realizar el montaje de los ensayos de campo pertinentes para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados y serán los encargados de la transferencia de tecnología y capacitación de los productores locales acerca del manejo integrado del CS, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por cada miembro del consorcio.

IX. Indicar el monto estimado que el consorcio solicitaría a FONTAGRO y los aportes estimados de contrapartida:

Recursos FONTAGRO: US \$ 320.000

Recursos de contrapartida: US \$360.000

Monto total estimado: US \$680.000

X. Periodo de ejecución:

Período de Ejecución: 36 meses

XI. Organismo ejecutor líder del consorcio:

Nombre y cargo: Rubén Echeverría, Director General.
Organización: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
País: Colombia
Tel: (57-2) 4450100 Ext. 3027
Email: ruben.echeverria@cgiar.org

XII. Investigador líder del consorcio (Ejecutor principal):

Organización 1: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)	Tel.: (57-2) 4450100 Ext. 3383
Investigador Líder: Elizabeth Álvarez	Fax: (57-2) 4450073
País: Colombia	Email: e.alvarez@cgiar.org

XIII. Integrantes del consorcio (Organismos co-ejecutores):

Organización 2: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)	Tel.: (506) 2862495 Ext. 334
Investigador Líder: Edgar Aguilar	Fax: (506) 2915234
País: Costa Rica	Email: eaguilar@inta.go.cr

Organización 3: Dirección de Investigación Agraria (DIA)	Tel.: 59521 575-560
Investigador Líder: Víctor Santander	Email: vmsantander@yahoo.com.ar
País: Paraguay	

Organización 4: Universidad de Córdoba	Tel.: (57-4) 7860300
Investigador Líder: Rodrigo Orlando Ocampo	Fax: (57-4) 7860054
País: Colombia	Email: rodrigoocampo43@hotmail.com

Otros integrantes del consorcio:

-*Colombia:* Asociación Municipal de Usuarios Campesinos, AMUC
Asociación de Productores de Yuca de las Sabanas de Córdoba y Sucre, APROYSA
Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola, FIDAR

CIAT: Entomología de Yuca
Virología de Yuca
Cultivo de Tejidos Vegetales, Biotecnología
Decision and Policy Analysis, DAPA

-*Costa Rica:* PCI Rojas y Madrigal S.A.

-*Paraguay:* Compañía de Desarrollo de Industrialización de Productos Primarios S. A., CODIPSA.
Dirección de Extensión Agraria, DEAg.
Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas, SENAVER.