

Estudio de la diversidad fenotípica de germoplasma de Caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] de Angola y un grupo de germoplasma que representa otras regiones del mundo.

Por

António Ndengoloka David

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

AGRONOMIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2011

Aprobado por:

_____	_____
James S. Beaver, Ph.D Presidente, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Timothy G. Porch , Ph.D Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Consuelo Estévez de Jensen, Ph.D Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Juan C. Martínez Cruzado, Ph.D Representante, Estudios Graduados	Fecha
_____	_____
Hipólito O’Farrill Nieves, Ph.D. Director Interino de Departamento	Fecha

Abstract

A study of the phenotypic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] was conducted at the University of Puerto Rico and the USDA-ARS Tropical Agriculture Research Station during 2010 and 2011. The field experiments planted at the Isabela Substation consisted of an evaluation of 16 lines of cowpea from the National Center for Genetic Resources of Angola, and 26 lines from the University of California Riverside and the University of Puerto Rico that represented cowpea germplasm from other regions in the world. The study of the phenotypic diversity of Angolan cowpea germplasm from other regions of the world was accomplished by comparing phenotypic characteristics such as general adaptation, phenology, growth habit, yield components, and seed characteristics. The seed color of most of the cowpea varieties was brown with the exception of the varieties from California which had cream-colored seed with black hilums. Almost all of the cowpea germplasm had a rhomboid shape. Angolan cowpea germplasm had an indeterminate growth habit whereas most of the germplasm from California, West Africa and Puerto Rico had a determinate growth habit. The average number of days to maturity of the Angolan germplasm was 76 days with a range of 67 to 82 days in the March 2010 planting. This compares with an average days to maturity of 70 days for the germplasm from other regions. The average number of days to maturity of the Angolan germplasm was 89 days with a range of 81 to 93 days in the December 2010 planting. This compares with an average days to maturity of 86 days for the the germplasm from other regions. In addition to consumption of cowpea seed in Angola, leaves of the plants are collected for human consumption and the straw is often used for forage; these factors may favor later maturing, indeterminate cowpea varieties that produce more biomass. Four cowpea varieties from Angola produced mean yields > 1,000 kg/ha during both planting seasons. These yields are significantly greater than the average seed yield in Angola (250 kg/ha). PI 441917 produced mean yields > 1,600 kg/ha during both growing seasons. Leaf

samples of Angolan cowpea germplasm had an average of 33% protein with a range of 28 to 34% in the March 2010 planting. The West African cowpea germplasm 58-57 had the highest % leaf protein (39%). Mean % seed protein of Angolan cowpea germplasm was 26% with a range from 25 to 28% in the March 2010 planting and 24% with a range of 22 to 26% in the December 2010 planting. These values are similar to mean % seed protein from other regions. Mean Fe in the seed of Angolan cowpea germplasm was 56 ppm with a range from 44 to 73 ppm in the March 2010 planting and 64 ppm with a range of 55 to 79 ppm in the December 2010 planting. Mean Zn in the seed of Angolan cowpea germplasm was 42 ppm with a range from 32-56 ppm in the March 2010 planting, and a mean of 43 ppm with a range of 39 to 47 ppm in the December 2010 planting. The mean seed Fe of the Angolan germplasm 124/1731-4 was 73 ppm for the March 2010 planting and 79 ppm for the December 2010 planting. The mean seed Zn of the Angolan germplasm 124/1731-4 was 53 ppm for the March 2010 planting and 41 ppm for the December 2010 planting. This Angolan variety had the highest seed Fe and among the highest seed Zn concentration. This study was successful in identifying cowpea germplasm with traits of potential value to breeding program in Angola and other regions of the world.

Resumen

Un estudio de la diversidad fenotípica de caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] se realizó en la Subestación de Isabela, de la Universidad de Puerto Rico y en USD-ARS, durante los años de 2010 y 2011. El experimento de campo consistió en la evaluación de 16 líneas de caupí originarias del Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos de Angola, y 26 líneas de la Universidad de California Riverside y la Universidad de Puerto Rico representando diversas regiones de producción de caupí en el mundo. El objetivo del estudio fue comparar la diversidad fenotípica del germoplasma de Angola con la diversidad de la colección de otras regiones del mundo, utilizando las características fenotípicas: adaptación general, fenología, hábito de crecimiento, componentes del rendimiento, y las características de la semilla de caupí. Marrón fue el color de grano que predominó en todos los germoplasmas, excepto el germoplasma de California que tiene el color crema con un hilo negro. La forma de la semilla romboide se pudo encontrar en todos los germoplasmas. El hábito de crecimiento indeterminado caracterizó el germoplasma de Angola, mientras que el tipo de crecimiento determinado predominó en el germoplasma de California, África Occidental y de Puerto Rico. El promedio general de días a madurez de germoplasma de Angola fue de 71 días en la siembra de marzo de 2010 con el intervalo de 67 a 82 comparado con un promedio de 70 días de madurez de germoplasma de otras regiones. El promedio de días de madurez de germoplasma de Angola sembrando en diciembre 2010 fue de 89 días con un intervalo de 81 a 93 días comparado con el promedio de 86 días de madurez con germoplasma de otras regiones. Además de consumo de semillas de caupí en Angola, también las hojas sirven para consumo humano y la paja es utilizada para la producción de forraje. Estos factores pueden favorecer la maduración tardía y el hábito de crecimiento indeterminado de caupí que producen más biomasa. Cuatro variedades de caupí de Angola produjeron rendimientos $> 1,000$ kg/ha en ambas épocas de siembra. Estas cifras son

significativamente mayores que el rendimiento promedio actual de Angola (250 kg/ha). PI 441917 produjo rendimientos con un promedio de > 1600 kg/ha en ambas épocas de siembras. Las muestras de hojas de germoplasma de caupí de Angola tuvieron un promedio de 33% de proteína con un intervalo de 28 a 34% en la siembra de marzo 2010. El germoplasma de caupí de África Occidental 58-57 tenía el porcentaje de proteína más alto en la hoja (39%). El promedio de proteína de germoplasma de Angola fue de 26% con un intervalo de 25 a 28% en marzo de 2010 y 24 % con un intervalo de 22 a 26% en la siembra de diciembre 2010. Estos valores son similares a las medias de porcentaje de proteína de otras regiones. La media de Fe en la semilla de caupí de Angola fue 56 ppm con un intervalo de 44 a 73 ppm en la siembra de marzo de 2010 y 64 ppm con un intervalo de 55 a 79 ppm en la siembra de diciembre de 2010. El promedio de zinc en la semilla del germoplasma de Angola fue de 42 ppm con un intervalo de 32 a 56 ppm en la siembra de marzo de 2010 y 43 ppm con un intervalo de 39 a 47 ppm en la siembra de diciembre de 2010. El promedio de hierro en la semilla del germoplasma de Angola 124/1731-4 fue de 73 ppm para la siembra de marzo de 2010 y 79 ppm en la siembra de diciembre de 2010. El promedio de Zn en semilla de germoplasma de Angola 124/1731-4 fue de 53 ppm para la siembra de marzo de 2010 y 41 ppm para la siembra de diciembre de 2010. Esta variedad de Angola tuvo el mayor valor de hierro y entre los más altos en la concentración de Zn. Este estudio fue exitoso en la identificación de germoplasma de caupí con características de valor potencial para los programas de mejoramiento en Angola y otras regiones del mundo.

Dedicatoria

Mi querida mamá Tekama Maria, recuerda que siempre compartí mis ideas y planes contigo. Estuviste presente cuando decidí hacer la maestría, me diste coraje, que todo iría bien y así fue gracias a Dios. Por eso este logro es suyo, se que estás en la presencia de Dios y lo estás celebrando. Este trabajo te lo dedico a tu memoria con toda mi fuerza y amor.

Agradecimientos

Primeramente me gustaría agradecer a Dios, por darme la vida, fuerza de terminar mis estudios, y por proteger a mi familia.

Sincero agradecimiento al proyecto Dry Grain Pulse Collaborative Research Support Program (CRSP), por ser responsable financiero de mi formación y convertir en realidad este evento.

A mis compañeros y compañeras del Ministerio de Agricultura, Desarrollo Rural y de Pescas, al Centro de Recursos Fitogenéticos de Angola y el Instituto de Investigación Agronómica, así como el Ingeniero António Chicapa por su liderazgo en el proyecto de leguminosas en Angola.

Mis agradecimientos a los profesores del Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, a los trabajadores de la Subestación de Isabela y los funcionarios de la Estación Experimental Federal (USDA-ARS-TARS), en especial al Dr. Ricardo Goenaga, Abrahan Montes, Delvis Pérez y Gregory Howard por el apoyo incondicional y confianza ofrecida durante mi trabajo de tesis.

Gracias Dr. James S. Beaver, Dr. Tim G. Porch y Dra. Consuelo Estévez de Jensen por ser parte de mi comité, por el gran apoyo y la confianza brindada durante mis estudios en Puerto Rico. Igualmente a los líderes de proyecto de caupí de la Universidad de California Riverside, Dr. Phillips Roberts, Dr. Jeff Ehlers y Dr. Tim Close, por la atención y seguimiento de mis estudios.

Expreso mi gratitud a familia Toro por apoyarme y aceptar como un miembro de su familia.

Por su paciencia, dedicación y preocupación hacia mí desde el primero día que llegué a Puerto Rico: Gracias a Dra. Linda Beaver y a la Dra. Damaris Santana.

Agradezco a mi compañera de trabajo Mónica Mbui Martins, igualmente a mis compañeros y compañeras de estudio que siempre me apoyaron incondicionalmente durante mi estudio.

Finalmente agradezco a mi familia, en especial mi padre (Tony David), mi esposa (Sandra António Tomé) y mi hijo Emanuel David por la comprensión, ternura y paciencia que siempre me brindaron en este gran logro que es de todos.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Objetivo.....	3
Revisión Bibliográfica.....	4
Materiales y Métodos.....	15
Resultados y Discusión.....	24
Conclusión.....	59
Recomendación	60
Referencias.....	61

Lista de tablas

Tabla 1: Lista de germoplasma por origen geográfico.....	20
Tabla 2: Características morfo-agronómicas de los grupos de germoplasma de Caupí.....	28
Tabla 3: Rendimiento y sus componentes de los grupos de germoplasma de Caupí.....	35
Tabla 4: Composición de los elementos (macroelementos) en la semilla de los grupos de germoplasma de Caupí.....	41
Tabla 5: Composición de los elementos (microelementos) en la semilla de los grupos de germoplasma de Caupí.....	50
Tabla 6: Composición de los elementos (macroelementos y microelementos) en la hoja de los grupos de germoplasma de Caupí.....	57

Lista de figuras

Figura 1: Sitios de colección de caupí en Angola por el CNRF.....	16
---	----

Introducción

El Caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] constituye una excelente fuente de proteína en la dieta de muchas familias en las zonas rurales de países en vías de desarrollo. Por lo tanto, su composición química, rica en contenido de proteínas, carbohidratos y minerales, le permite ser utilizado como sustituto de carne, por considerarse muy costoso (Fall et al., 2003). Por esta razón muchos autores lo denominan como la carne de los pobres.

En Angola, el caupí es utilizado como alimento por la población rural y urbana, en combinación con cereales y raíces o tubérculos. El cultivo es consumido como grano seco, hojas y vainas verdes como vegetal, y en forma de forraje para rumiantes. Por esta razón, surge la necesidad de prestar más importancia en este cultivo para la producción comercial, así como producir una fuente de ingreso para agricultores y sus familias.

El caupí es cultivado en casi todo territorio angolano, pero es concentrado más en las zonas norte y centro-sur del país. El rendimiento promedio de caupí es de aproximadamente de 250 kg/ha. El cultivo es producido mayormente por los pequeños agricultores, para la subsistencia de sus familias y para la alimentación del ganado vacuno. Las áreas de siembras de caupí son normalmente ≤ 1 hectárea. Se siembra en asociación con maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y sorgo (*Sorghum spp.*). La mayoría de la siembra es realizada durante los meses de octubre y noviembre, época que corresponde al inicio del año agrícola de Angola, y durante los meses de febrero y mayo, la segunda época de cultivo. La mayoría de los campos utilizados para la producción de caupí tienen suelos desde fersialíticos tropicales, calcáreos pardos, paraferalíticos y ferralíticos (Diniz, 2006). Las temperaturas oscilan de 20° a 30° C durante el desarrollo del cultivo.

Actualmente, los agricultores angolanos siembran variedades criollas de caupí. Estas variedades fueron desarrolladas por métodos de selección tradicional basada en la experiencia de los agricultores adquirida por varias generaciones. Esta selección realizada por los agricultores en ambientes específicos ha producido germoplasma de caupí con alto potencial genético de adaptarse en suelos áridos y en condiciones de climas diversos.

Por eso, existe un compromiso social y moral de conocer en lo más profundo el cultivo y su diversidad genética porque es importante identificar germoplasma que tiene potencial para ser utilizado por los programas de mejoramiento genético. Además el caupí es uno de los alimentos básicos de Angola que el gobierno de Angola y otras instituciones desean promover. Los agricultores necesitan variedades de caupí mejoradas con mayor capacidad de rendimiento y adaptable a condiciones extremas de sequía y altas temperaturas.

Todavía existe poca información sobre el cultivo de caupí en Angola. La falta de información urge la necesidad de crear bases de datos sólidos para futuros programas de mejoramiento genético. Pretendemos empezar con un estudio de las variedades conocidas y cultivadas por los agricultores en Angola y que también fueron caracterizados por el Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos de Angola. Existe una diversidad de variedades criollas de Angola que varían en su ciclo, hábito de crecimiento, reacción al estrés abiótico, biótico, forma, tamaño y valor nutricional de los granos. Esta diversidad genética clama por su potencial y la necesidad de conservación. Debido a las limitaciones de información sobre el caupí en Angola, este trabajo tiene el potencial de abrir un nuevo capítulo en el conocimiento de la diversidad de germoplasma de caupí de Angola con relación a otros grupos de germoplasma. Abre así las posibilidades de fomentar mayor interés en el cultivo, no sólo como alimentación básica de los agricultores, o bien decir cultivo de subsistencia, pero también como un cultivo comercial, donde

familias podrían vivir de las recetas financieras proveniente de este cultivo. Un desafío es invertir suficientes recursos en estudios de diversidad para conocer y utilizar las potencialidades genéticas del cultivo.

Este objetivo requiere la creación de programas de mejoramiento enfocados en las variedades tradicionales o que puedan tener potencial para contribuir en otros estudios fitogenéticos. Con este trabajo y otros estudios realizados por investigadores angolanos, se comenzará una nueva etapa de la divulgación del cultivo de caupí en Angola que brinda información útil que servirá como base para futuros trabajos de investigación.

Con la gran diversidad de variedades criollas que se encuentra en la agroecología angolana, suscita la necesidad de evaluar este material genético que el país posee. Un mejor entendimiento de esta diversidad genética juega un papel esencial para los programas de mejoramiento genético y los bancos genéticos que se dedican a la conservación de especies. El uso de diversidad genética es un componente importante para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción agrícola.

Objetivos

El objetivo del trabajo es estudiar y comparar la diversidad fenotípica de variedades criollas de caupí de Angola con una colección de germoplasma de California y Puerto Rico que representa otras regiones de producción del mundo. El estudio se basa en evaluación de términos agronómicos, la composición elemental de la hoja y semilla.

Revisión Bibliográfica.

El caupí, *Vigna unguiculata* (L.) Walpers ($2n=2x=22$), es una leguminosa, dicotiledónea herbácea, anual y a veces perenne (Singh et al., 1997; Mitidieri, 1983). Debido a su rusticidad, puede adaptarse en diversos hábitats (Ishiyaku et al., 2005; Ellis et al., 1994; Steele, 1976). Caupí pertenece al orden *Rosales*, familia *Leguminosae*, subfamilia *Papilionoideae*, tribu *Phaseoleae*, subtribu *Phaseolinae*, género *Vigna*.

El género *Vigna* está constituido por más de 85 especies que están divididas en siete subgéneros. El caupí se encuentra dentro del subgénero *Ceratotropis* bajo la especie *unguiculata*. Hay especies silvestres compatibles y otras incompatibles para cruzamiento con el caupí domesticado (Ng, 1995).

Vigna unguiculata incluye caupí anual (ssp. *unguiculata*) y diez subespecies silvestres perennes. Subespecies *unguiculata* incluye todas las variedades domesticadas, silvestres, y hierbas (Pasquet, 1993). La forma más conocida para la clasificación subdivide todas las variedades domesticadas en cuatro grupos de cultivares basada esencialmente en sus características de semillas y vainas (Westphal, 1974).

El caupí es originario de África, de donde se diseminó en otras regiones con clima semejante, pero hasta hoy no existe ninguna contestación sobre su origen porque han encontrado rasgos silvestres que son endémicos de África (Pasquet, 1999). Igualmente, la gran mayoría de las especies de este género están en África, donde 66 especies son consideradas endémicas (Steele, 1976). Debido a los colonizadores españoles y portugueses y por el tráfico de esclavos en el siglo XVI, la introducción del cultivo de caupí en América fue a partir del continente europeo y del oeste africano (Guazzelli, 1988).

Estudios moleculares demuestran que la variedad *spontane* presenta tener una amplia distribución en la región sub-sahariana de África (Pasquet, 1999; Panella et al., 1992), pero todavía existen discusiones sobre dónde realmente fue domesticado el caupí. Se han propuesto dos lugares de domesticación, en el oeste y noreste africano (Pasquet, 2000; Ng 1995; Vaillancourt et al., 1992). Según los autores, el centro de domesticación del oeste de África, se ha propuesto con la base de alto nivel de diversidad morfológica, la antigua evidencia arqueológica de caupí en Gana, y la identificación de especies silvestres y accesiones cultivadas a través de análisis molecular de material de Nigeria. En el caso de la región del nordeste africano, se define por la presencia de especies silvestres de caupí en esta región, y por el alto nivel de diversidad de especies silvestres de caupí desde la región de Etiopía hasta Sudáfrica (Baudoin y Maréchal, 1985). También, hay evidencia de los resultados de estudios etnobotánicos, lingüísticos e isozymáticos (Pasquet, 1996). Las investigaciones de estudios enzimáticos revelan la ausencia de un centro de diversidad en el oeste de África (Vaillancourt et al., 1993) y un alto nivel de diversidad de cultivares de caupí originario de Etiopía (Pasquet, 2000).

El clima, como los patrones de temperatura, precipitación, fotoperiodo, el viento y radiación solar, ejercen un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo del cultivo de caupí. El caupí es un cultivo de zonas tropicales y subtropicales, que se desarrolla en un rango de temperatura que oscila entre 20 °C a 35 °C. Exige un mínimo de 300 mm de precipitación para alcanzar sus necesidades fisiológicas, sin el requerimiento de la utilización de la irrigación controlada. Regiones con precipitaciones que oscilen entre 250 a 500 mm anuales, son consideradas zonas ideales para cultivar el caupí. El cultivo se desarrolla en una gran diversidad de ambientes con una latitud de 40° N a 35° S (Rachie, 1985).

La mayor colección de germoplasma de caupí del mundo, se encuentra en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA). Está constituido por 15,003 accesiones de caupí provenientes de 89 países. La mayoría de la colección viene del continente africano. Un total de 12,594 de las accesiones de la colección son variedades locales colectadas en los campos de los agricultores. Un total de 10,277 accesiones fueron caracterizadas usando los descriptores de caupí (Bioversity International, 2007). Los cultivares avanzados y líneas mejoradas de la colección de germoplasma ya fueron caracterizadas (Mahalakshmi et al., 2007).

De acuerdo a los datos estadísticos de la FAO, la producción mundial anual de caupí es de 7.56 millones de toneladas cultivados en 12.76 millones de hectáreas. El 70% de esta producción total, es producida en países de África Subsahariana. Nigeria, Níger y Brasil son los países con la mayor producción de caupí en el mundo (Cavalcante & Atroch, 1995, citado por Pedro, 2007).

La semilla de caupí es una excelente fuente barata de proteína, con una media de 23-25% y tiene todos los aminoácidos esenciales, carbohidratos 62%, vitaminas y minerales, además de poseer grandes cantidades de fibra dietética, baja cantidad de gorduras (con una porción de grasa alrededor de 2%), y no contiene colesterol (Rivas et al., 2005). Afirmaciones semejantes coinciden con los trabajos de otros autores que encontraron un promedio de contenido de proteína de la semilla que oscila entre el 20-26 % (Singh et al.,1997). Se analizaron las semillas de un grupo de 100 líneas avanzadas del IITA y encontraron un contenido de proteína entre 23% a 32% (Niesen et al., 1993). Por lo tanto, existe la variabilidad genética del contenido de proteína cruda que puede ser explorado y utilizado para mejorar la calidad del grano (Hall et al.,2003). Estudios realizados encontraron que el contenido de grasa varió de 1.4% al 2.7% para 100 líneas

avanzadas del IITA. Esta variación en el contenido de grasa puede tener algún impacto en la calidad del procesamiento de los granos (Niesen et al., 1993).

El caupí tiene un gran potencial y rusticidad para desarrollar en suelos semiáridos, siendo así un buen alimento básico para las poblaciones que viven en algunas partes de África, Asia y América del Sur donde los ambientes son menos favorables para la producción de otras leguminosas de grano. Por esta razón, la calidad nutricional del grano de caupí es particularmente importante debido a su uso como alimento básico por muchas personas de países pobres que no tienen una dieta equilibrada.

Por su valor nutritivo, el caupí es cultivado para producir granos secos o verdes, para el consumo humano, y también puede ser consumido en forma fresca o transformado en forma de conserva. Además el caupí es utilizado como forraje verde, heno, ensilaje, harina para la alimentación animal, y como abono verde y para protección contra la erosión del suelo (Fall et al., 2003; CGIAR, 2005). Las hojas, tallos y las semillas de caupí tienen propiedades antimicrobianas. Cuando es consumido frecuentemente permite controlar los niveles de colesterol y bajar la presión arterial. Por lo general las poblaciones con hábitos de consumo de caupí tienen una menor incidencia de diagnóstico de alta presión arterial, diabetes y otras enfermedades del corazón (Brazzino, 2002).

La diversidad genética incluye germoplasma de plantas, animales y otros organismos que tienen diferentes características morfológicas o genéticas (Cromwell et al., 1999). Esta diversidad permite las especies adaptarse a los cambios en el medio ambiente. De acuerdo el estudio de Browning (1988), la diversidad es la única forma o medio de defensa contra los fenómenos inesperados. Clay (1991) se refiere a la diversidad genética como la variación genética entre individuos que ofrece un mecanismo para la población adaptarse a cualquier

cambio ambiental. Además, este mismo autor afirma que mientras más variación, mejor oportunidad de por lo menos algunos individuos tener variaciones alélicas que se adaptan al nuevo ambiente. La diversidad que normalmente acontece en plantas y animales es llamada agrobiodiversidad. El futuro de la seguridad alimentaria mundial dependerá del éxito de los esfuerzos de la conservación y el refuerzo de la agro-biodiversidad. Los temas relacionados a la conservación de recursos genéticos han despertado la atención de todas naciones para implementar un plan global de acción para la conservación y utilización razonable de recursos genéticos de plantas para la seguridad alimentaria (FAO, 1996). Aunque los recursos genéticos han tenido un enorme aporte en el desarrollo de la agricultura en el pasado, todavía tienen un fuerte potencial para seguir contribuyendo en el futuro, a través de la adopción de innovadoras estrategias de investigación para mejoramiento y conservación de plantas, por medio de uso de tecnologías que ofrecerá a los agricultores y comunidades rurales el aumento de rendimiento y la sustentabilidad de la producción.

Todavía existen muchas limitaciones en la utilización del material genético para los programas de mejoramiento en las comunidades de los agricultores tradicionales. Esta limitación está relacionada a la falta de caracterización de germoplasma, falta de la información de la colección de los materiales existentes ex-situ e in-situ, coordinación deficiente de políticas agrícolas a nivel nacional, incapacidad de integración de los bancos de genes, dificultades en manejar grandes colecciones, pequeños grupos de especies utilizadas para la actividad de investigación y falta de incentivos de mercado.

En Angola, el Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos tiene coleccionada 313 accesiones de caupí provenientes mayormente de la región centro-sur de Angola, donde está localizada gran parte de los pequeños agricultores que se dedican al cultivo de caupí (Matos,

2002; Diniz, 1991). El caupí es cultivado en suelos fersialíticos tropicales, calcários pardos, paraferalíticos y ferralíticos (Diniz, 2006), en áreas menores de 1 hectárea en asociación con el maíz, la yuca y el sorgo. La región centro-sur, donde se recolectó una gran parte de las accesiones, tiene una altitud de más de 1000 m. En contraste, algunas accesiones tienen su origen en la zona litoral, en particular la provincia de Luanda que tiene una altitud promedio de 44 m sobre el nivel del mar (Luzolo et al., 2006; Diniz, 1973).

La selección de variedades para un determinado ambiente y sistema de producción, puede ser una de las claves importantes para aumentar el rendimiento del caupí. Pero esto no es suficiente, sino la selección de variedades con características de grano y vainas que responden a las demandas de los agricultores y consumidores (Freire Filho et al., 2001).

Los siguientes son algunos aspectos para tener en cuenta al seleccionar una variedad :

- Ciclo, (super-temprana: maduración hasta 60 días; temprana: 61-70 días; medio temprana: 71-80 días; medio: 71-90 días; medio-tardío: 81-90 días; y tardío: más de 90 días).
- Arquitectura de la planta, (porte erecto: ramas principales y secundarias cortas, formando un ángulo de agudo a recto con el tallo principal; semi-erecto: tallo principal y secundario de corto a medio, formando un ángulo recto con el tallo principal. Semi-postrado: tallos principales y secundarios medios, con estos tocando el suelo: y postrado; tallos principales y secundarios largos, con estos tocando el suelo.
- Reacción a enfermedades (virales, hongos y bacterias) y plagas [afidios (*Aphis Craccivora*), maruca (*Maruca testulalis*), tripidos de la flor (*Megalurothrips sjostedti*), moscas blancas (*Bemisia tabaci*) y minador de la hoja (*Liriomyza sativae*)].

Un mejor conocimiento de la variabilidad genética de la colección de caupí cultivada y silvestre es importante para maximizar el uso de los recursos genéticos disponibles. Hoy en día, aunque no se ha abandonado el uso de los métodos tradicionales para estudiar la diversidad genética de plantas cultivadas, existen nuevas técnicas como los marcadores bioquímicos, isoenzimas, y marcadores moleculares que facilitan los estudios de identificación, caracterización y mapeamiento genético de cultivos como el caupí (Xavier et al., 2005).

Actualmente, ya existen varios métodos analíticos para el estudio de las proteínas de reserva tales como: separación por centrifugación, cromatografía, análisis de aminoácidos y electroforesis. Entre ellos, el de mayor uso ha sido la electroforesis que fue desarrollado en geles de almidón de una dimensión, en geles de poliacrilamida (PAGE) con o sin Sodium Dodecil Sulfate, punto isoeléctrico (IEF) y poliacrilamida de dos dimensiones. La electroforesis en poliacrimida vertical (PAGE-SDS), es la más utilizada en estudios de diversidad ya que presenta una buena resolución de proteína.

Usando proteínas de almacenamiento en estudios sobre sistemática y diversidad genética, se relaciona por separación de las bandas y evaluación de diferencias en tamaño de banda entre los individuos. Estas proteínas carecen de actividad enzimática, ya que son detectadas en el gel por medio de técnicas generales de teñido (Becerra et al., 2000).

Estudios genéticos realizados demostraron que los patrones de bandas de las proteínas de reserva son heredadas como características discretas y en forma codominante, observándose en algunos casos un efecto maternal (Leonard et al., 1988). El número de genes que controlan estas características es reducido y varía de acuerdo con la especie (Gepts, 1990).

Según Gayler y Sykes (1985) el marcador bioquímico, las proteínas de reserva, tienen una baja influencia ambiental, aunque se han reportado algunas excepciones. Pero a su vez

permite un análisis rápido de decenas de muestras por ser un método simple y de bajo costo comparado con otras técnicas.

La cantidad de la diversidad genética mediante polimorfismo proteico puede ser subestimado por la no detección de mutaciones silenciosas. El polimorfismo de las proteínas de reserva en semillas ha contribuido para identificar y distinguir genotipos cultivados y silvestres en numerosas especies, tales como: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), (Gepts y Bliss, 1986); trigo (*Triticum aestivum*) (Meachman et al., 1978); cebada (*Hordeum vulgare*); y maíz (*Zea mays*) (Wilson, 1985). Polimorfismo proteico fue eficaz en algunas especies para diferenciación de individuos. Por ejemplo, en frijol, mediante el estudio de un locus fue posible determinar por primera vez la organización de la diversidad genética de la especie (Gepts, 1990). Igualmente, ha sido corroborada con el uso de isoenzimas y Fragmentos de Restricción Polimorfismo de longitud (RFLP), (Koenig y Gepts, 1989; Becerra y Gepts, 1994).

Mediante el uso de geles de almidón y la tinción química de las proteínas, se demostró dentro de un organismo la existencia de isoenzimas, formas moleculares múltiples dentro de un organismo que catalizan una misma reacción. El efecto de una modificación alélica puede ser detectado con certeza, debido a un cambio de movilidad electroforética. Para estos estudios, se pueden utilizar diferentes órganos de la planta, tales como las hojas, raíces y botones florales, de los cuales se obtiene un extracto crudo proteico. Es una técnica que permite la separación de las enzimas del extracto crudo, en una matriz permeable (almidón, PAGE) bajo la acción de un campo eléctrico y seguido de un teñido química.

Según Becerra y Gepts, (1994), las principales características de las isoenzimas son las siguientes:

- 1- La simplicidad
- 2- Mínima cantidad del material necesario
- 3- Bajo costo y una cobertura del genoma de 10-20 *loci* por especie
- 4- Ausencia de epistasis e influencias ambientales

La expresión alélica es de tipo codominante, ya que así permite establecer comparaciones entre especies, poblaciones de una misma especie, y detectar la presencia de híbridos e introgresión de genes (Paredes y Gepts, 1995). Según Paredes y Gepts (1995) las desventajas de las isoenzimas son:

- 1- Presenta un nivel bajo de polimorfismo al presentar pocos alelos por *locus*, especialmente cuando la base genética es estrecha.
- 2- Las proteínas, siendo un producto del ADN, pueden ser afectadas cualitativas y cuantitativamente en su nivel de expresión por factores ambientales.

El polimorfismo basado en proteínas ha sido de gran utilidad en las investigaciones realizadas en plantas, pero con el desarrollo de las tecnologías basadas en ADN, la investigación en esta área ha logrado encontrar una mayor cantidad de marcadores, basados en Fragmentos de Restricción Polimórficos en la longitud (RFLP) y en la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). De estas dos técnicas se derivan algunas técnicas como la Amplificación de ADN al azar (RAPD), Fragmentos Polimórficos de ADN Amplificados (AFLP), minisatélites (VNTR) y microsatélites (SSR), polimorfismos de nucleótido sencillo (SNPs), entre otros (Becerra et al., 2000).

Estos métodos permiten estudiar el genoma con una mayor cobertura al incluir secuencias codificadoras y no-codificadoras del ADN (exones e intrones). Con esto es posible detectar con mayor eficiencia cambios genéticos de un sólo nucleótido, comparado a las proteínas (Wang et

al.,1992). Las principales ventajas de los RFLPs radican en la presencia de un número ilimitado de alelos por locus, ya que no son afectados por el medio ambiente, no presentan efectos pleiotrópicos y pueden ser evaluados en cualquier etapa de desarrollo de la planta a diferencia del método de proteínas de reserva y las isoenzimas, que tienen que identificar los estados de desarrollo de la planta donde la proteína es estable.

La técnica RFLP consiste en la digestión del ADN total de un individuo con diferentes enzimas de restricción. Esta restricción produce cantidades equimolares de fragmentos para una molécula de ADN. Los fragmentos resultantes son separados por electroforesis en geles de agarosa y transferidos por capilaridad a una membrana de nilón (Southern Blot). Los RFLPs son causados por rearrreglos del ADN, que pueden ser como las pérdidas, inserciones o sustituciones de secuencias o nucleótidos únicos, significando la ganancia o pérdida de sitios de restricción. Esto es detectado a través de diferencias en el peso molecular de los fragmentos homólogos de restricción del ADN genómico al hibridar con la sonda seleccionada.

Los RFLPs se heredan en forma Mendeliana simple, y si en caso que la sonda empleada representa una copia única, ella es considerada como un *locus* y las variaciones en patrones son analizados como alelos (bialélicos o multialélicos).

El uso de los RFLP en las plantas representa una buena alternativa para realizar diversos estudios relacionados con los tres genomas que existen en ellas, que son: el nuclear (ADNn), mitocondrial (ADNmt) y el de cloroplasto (ADNcp). La aplicación de esta técnica ha sido de gran utilidad en estudios filogenéticos, diversidad genética e identificación de cultivares con propósito de protección varietal (Becerra y Gepts, 1994).

El uso de polimorfismos de ADN ampliado aleatoriamente (RAPD) es una técnica molecular rápida, barata e informativa (Willian et al.,1990), que ha permitido la realización de

estudios de diversidad genética con grandes aportes para la ciencia, pero más trabajos de este género con marcadores como polimorfismo de nucleótido sencillo (SNPs) sería importante para explorar el potencial genético de caupí. Es importante combinar las técnicas de selección tradicional, que es realizado en el campo, y las técnicas de genética molecular para utilizar diversidad genética que permitirá desarrollar líneas con características morfológicas, fisiológicas y agronómicas capaces de producir y tolerar diversas condiciones agroecológicas y para resistir las enfermedades y las plagas que limitan la producción de caupí.

Polimorfismos de nucleótido sencillo (SNPs) son las diferencias en la secuencia de ADN de una sola (o algunas veces un pequeño número de) los nucleótidos. Cuando estas diferencias se producen dentro de una secuencia génica, en la mayoría de los casos son fenotípicamente neutrales, pero a veces pueden estar asociados a un cambio en la secuencia de aminoácidos del producto génico. Son muy comunes, y se distribuyen por todo el genoma.

Caracterización de los SNPs puede ser relativamente simple, pero el descubrimiento de los SNPs generalmente requiere la secuenciación extensa de ADN. Aunque aún no se utiliza ampliamente en el marcador asistida para mejoramiento (MAB), el SNPs en el futuro es probable que domine el campo, debido al incremento en la posible automatización (www.generationcp.org/mab/index.php?id=038, 2010).

El genoma de caupí tiene un tamaño de unos 600 millones de pares de bases. Actualmente cuenta con las bibliotecas de cDNA más de 180.000 secuencias parciales de cDNA (marcadores de secuencias expresadas; EST), bibliotecas genómicas de cromosomas artificiales bacterianos (BAC) y las secuencias finales BAC (BEC), polimorfismos de nucleótido sencillo (SNP) y un sistema genotipado de SNP de alto rendimiento.

También hay varias poblaciones de líneas endogámicas recombinantes (RIL) y un mapa genético que contiene el consenso de más de 1,000 marcadores SNP.

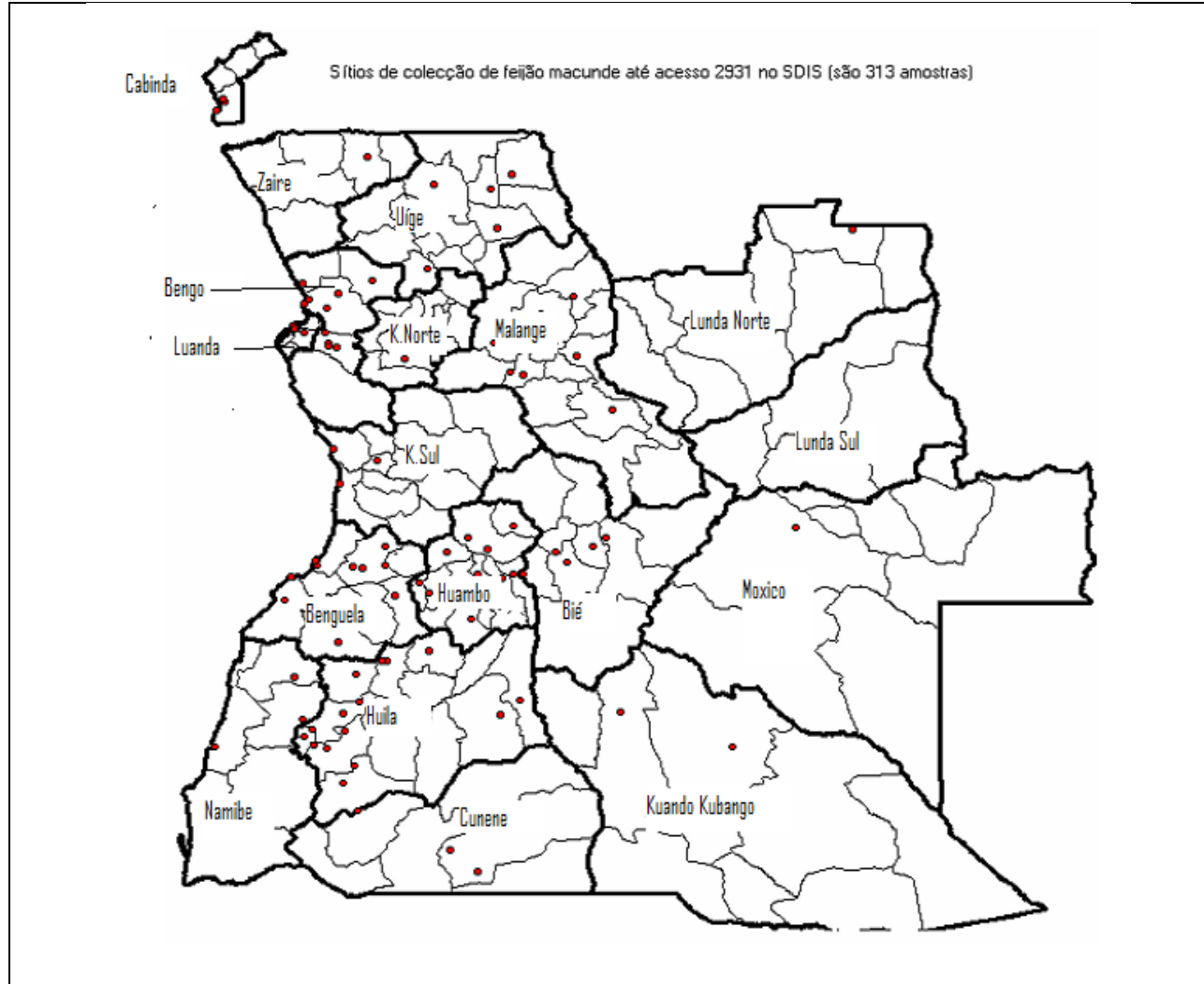
Igualmente, hay trabajos realizados resultando en un mapa genético de consenso con 741 líneas puras de seis poblaciones, y 1,375 marcadores confiables SNP. De estos, se incorporaron 928 a un mapa genético de consenso que abarca 680 cM con 11 grupos de ligamiento y un marcador de media distancia de 0.73 cM. (Muchero et al., 2009).

Materiales y Métodos

El trabajo consistió en un estudio de la diversidad fenotípica de una colección de caupí, entre ellas se encuentran 16 variedades criollas de Angola, 22 variedades de California representando una colección del germoplasma de otras regiones de producción de caupí del mundo, incluyendo variedades ‘Gorda’, PI 441918, ‘Red River’ y ‘Iron Clay’ obtenidos en Puerto Rico.

El CNRF tiene una colección de aproximadamente 313 accesiones provenientes de la región norte, centro-sur y la zona costera (Fig. 1) de Angola. De este grupo, 20 accesiones fueron parte de este estudio de diversidad fenotípica. En este estudio, las accesiones representan tres zonas de adaptación: 124/1859 (zona norte); 030714, 124/2636, 124/2110, 2115, 124/2124, y 1261 (zona centro-sur); 030174, 124/1731, 124/1764, 124/1454, 124/1375, y 124/2469 (zona costera).

Fig. 1 Sitios de colección de caupí en Angola por el CNRF.



Fonte: (Pedro,2007).

El presente trabajo se inició a partir de una selección de plantas individuales de 20 variedades criollas de Angola. Debido a la variabilidad fenotípica dentro de las variedades criollas se obtuvieron 16 líneas de germoplasma de caupí de Angola provenientes del Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos de Angola. También obtuvimos 26 accesiones de germoplasma provenientes de California y Puerto Rico que representan la colección de resto del mundo.

Las variedades de caupí de Angola en este estudio son originarias de cuatro regiones agrícolas de Angola según la clasificación de Diniz (2006): zona agrícola 3, cafeícola Dembos-Uíge; zona agrícola 7/8, Litoral de Luanda; zona agrícola 15, Litoral – Sul do Kuanza; y zona agrícola 24, Planalto Central.

La accesión 124/1859 es originaria de la zona agrícola 3, cafeícola Dembos-Uíge, norte del país en la provincia de Uíge, considerada región de clima tropical húmedo, latitud $6^{\circ} 48' - 9^{\circ} 35'$ Sur , longitud $13^{\circ} 26' - 15^{\circ} 42'$ Este, con dos estaciones bien definidas: lluviosa de 7 a 8 meses (Septiembre – Mayo) con valores pluviométricos entre 900 mm en el límite oeste hasta los 1500 mm en la periferia interior. Las mayores precipitaciones se concentran en los meses de noviembre y abril. La temperatura promedio anual más baja es de 25°C y 22°C en el interior en las zonas de mayor altitud. En esta zona predomina los suelos tipo-paraferalíticos amarillos y francamente ferralíticos.

Las accesiones 124/1731 y 124/1764 son originarias de la zona costera, litoral de Luanda, latitud $6^{\circ} 55' - 9^{\circ} 47'$ Sur, $12^{\circ} 50' - 15^{\circ} 10'$ Este. La estación lluviosa es entre septiembre y mayo, con precipitaciones de 350 mm en el litoral y 700 mm en el interior. La temperatura media anual oscila entre los 25°C a 26°C . Las accesiones 124/1454, 124/1375 se cultivan en la zona litoral sur del Kuanza, latitud entre $9^{\circ} 10'$ y $12^{\circ} 00'$ Sur – longitud entre $13^{\circ} 8'$ y $14^{\circ} 40'$, en un

clima tropical semiárido. Las época lluviosa es de aproximadamente 6 meses (noviembre – abril), con precipitaciones que varían de 400 mm en el litoral hasta un poco menos de 1000 mm en la periferia del interior, con marzo siendo el mes más lluvioso. Las temperaturas medias anual oscilan aproximadamente entre 26°C a 27°C. Los suelos predominantes son fersialíticos y calcáreos pardos.

Las accesiones 030174, 124/2469, 124/2636, 124/2110, 2115, 124/2124 y 1261 son originarias de la zona centro-sur de Angola, situada en gran parte a más de 1500 m de altitud, entre latitud de 10° 27'—14 16' Sur , longitud entre 14° 14' – y 17° 37' Este.

Esta área es considerada zona tropical de alternancia de climas húmedos y secos. La estación lluviosa tiene duración de aproximadamente de 7 meses (de septiembre hasta abril) con valores de precipitación que oscilan de 1100 mm hasta 1400 mm. La temperatura media anual varía entre 19°C a 20°C y los suelos predominantes son ferralíticos y paraferalíticos.

La accesión 124/1731 es de la región litoral, provincia de Bengo. Se caracteriza por presentar el hábito de crecimiento indeterminado trepador. La semilla es reniforme, de color marrón. La flor es de color lilá-rosa. Tiene un promedio de 7 nódulos en el tallo principal, 2 vainas por pedúnculo y 18 lóculos por vaina.

La accesión 124/1764 es de la región litoral, provincia de Bengo. La accesión tiene un hábito de crecimiento indeterminado semi-erecto. La forma de la semilla es reniforme de color marrón y la flor color lilá-rosa. Tiene un promedio de 7 nódulos en el tallo principal, 2 vainas por pedúnculo y 16 lóculos por vaina.

La accesión 124/1454 es de la región litoral, provincia de Kwanza Sul. Es una variedad con hábito de crecimiento indeterminado trepador. Su forma de semilla es cuboide con color

marrón o gris. Su órgano floral es de color lilá-rosa. El número promedio de nódulos en el tallo principal es 7, mientras que el número de vainas por pedúnculo es 2 y hay 18 lóculos por vaina.

La accesión 124/1375 es una variedad con hábito de crecimiento determinado erecto, con semilla de forma globosa, color marrón claro. Presenta una flor de color lilá-rosa, mientras que tiene un promedio de 6 nódulos, 2 vainas por pedúnculo y 15 lóculos por vaina.

El accesión 030714 es una variedad con hábito de crecimiento indeterminado semi-recto. Su forma de semilla es ovoide con color marrón claro. El color de la flor es lilá-rosa. Tiene un promedio de 6 nódulos en el tallo principal y 2 vainas por pedúnculo, mientras el número de lóculos por vaina es de 15.

La accesión 124/2469 es originaria de la región sur. Presenta el hábito de crecimiento determinado, y la forma de la semilla es globosa de color marrón o gris. Tiene un promedio de 7 nódulos en el tallo principal, 2 vainas por pedúnculo, y 19 lóculos por vaina.

Los experimentos de campo fueron realizados durante los años de 2010 y 2011 en la Subestación de Isabela de la Universidad de Puerto Rico, que se localiza en la región noroeste de Puerto Rico a una longitud de 67.3° oeste, una latitud de 18.3° norte y a una altitud de 128 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio anual de la zona es 29.3°C, con una precipitación promedio anual de 1524 mm (Junta de Planificación, 2006). El suelo pertenece a la serie Coto (very-fine, Kaolinitic isohyperthermic Typic Eustrustox), suelo profundo, de buen drenaje ligeramente ácido y moderadamente permeable (Gierbolini, 1975). Se sembraron 16 variedades criollas de caupí del banco de germoplasma de Angola, 26 variedades de caupí provenientes de la Universidad de California, Riverside y la Universidad de Puerto Rico que representan la colección de germplasma de caupí del resto del mundo (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de germoplasmas por origen geográfico.

Nombre de accesión	Origen	Institución	Ciclo biológico	Genotipo
Angola				
030714-1	Angola	CNRF	Medio-temprano	Criollo
030714-4	Angola	CNRF	Medio-temprano	Criollo
124/1375-3	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/1454-4	Angola	CNRF	Medio-temprano	Criollo
124/1454-5	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/1731-1	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/1731-4	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/1764-2	Angola	CNRF	Medio-temprano	Criollo
124/1859-2	Angola	CNRF	Medio-tardío	Criollo
124/2122-3	Angola	CNRF	Medio-temprano	Criollo
124/2469-1	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/2783-1	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/2783-4	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
2870-1	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
2870-5	Angola	CNRF	Temprano	Criollo
124/2983-5	Angola	CNRF	Medio-tardío	Criollo
California				
524B	California	UCR	Temprano	Mejorado
CB 27	California	UCR	Temprano	Mejorado
CB 46	California	UCD	Temprano	Mejorado
África Occidental				
Apagbaala	Ghana	SARI	Temprano	Mejorado
Bambey 21	Senegal	ISRA	Temprano	Mejorado
Ife Brown	Nigeria	-	Temprano	Mejorado
IT82E-18	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
IT84S-2049	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
IT90K-284-2	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
IT95K-1491	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
IT97-499-39	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
Melakh	Senegal	ISRA	Temprano	Mejorado
Mouride	Senegal	ISRA	Temprano	Mejorado
Yacine	Senegal	ISRA	Temprano	Mejorado
58-53	Senegal	ISRA	Medio-temprano	Criollo
58-57	Senegal	ISRA	Medio- temprano	Criollo
IT98K-555-1	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
KVx403-P-20-T	B. Faso	INERA	Temprano	Mejorado
KVx525	B. Faso	INERA	Temprano	Mejorado
Su Vita2	B. Faso	INERA	Temprano	Criollo

Nombre de accesión	Origen	Institución	Ciclo biológico	Genotipo
África Occidental				
UCR288(Tvx1948)	Nigeria	IITA	Temprano	Mejorado
Tvu 7778	Nigeria	-	Temprano	Criollo
Puerto Rico				
Gorda	Puerto Rico		Medio-temprano	Criollo
PI 441917	Brasil	TARS-ARS	Temprano	Criollo
Red River	USA	-	-	-
Iron Clay	USA	-	-	-

Burkina Faso= B. Faso

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones para el primer experimento y 4 repeticiones para el segundo experimento. Los tratamientos fueron las 42 líneas y variedades de caupí. La unidad experimental fue 1 surco de 2 m en la primera siembra, mientras que en la segunda siembra fue de 1 surco de 4 m. Las distancias de siembra para los dos experimentos fueron de 1.33 m y 2 m entre surcos por 0.50 m entre plantas dentro de los surcos. Tres semillas fueron sembradas por hoyo. En la siembra se aplicaron la dosis de 60 kg/ha de la fórmula completa (N-P-K) y el riego realizado fue por aspersión. Los parámetros evaluados fueron de acuerdo con el objetivo del estudio y las escalas usadas fueron según el descriptor de caupí (Bioversity International, 2007), como a continuación se describe:

- Color del grano: (clasificado en marrón, marrón con mancha, crema, violeta y rojo).
- Forma del grano: 1=reniforme, 2=ovoide, 3=truncada, 4=globosa y 5=romboide
- Vigor de la planta: se usó la escala donde: 3= no vigoroso (altura menor que 37 cm y ancho menor que 75 cm); 5=Intermedio (altura mayor que 37 cm o ancho mayor que 75 cm); 7=vigoroso (altura mayor que 37 cm y ancho mayor que 75 cm); 9= muy vigoroso (altura mayor que 50 cm y largura mayor que 1m).

- Hábito de crecimiento: se usó la escala donde, 1=determinado; 2=indeterminado arbustivo; 3=indeterminado, con ramificación erecta abierta; 4=indeterminado, trepador; y 5=otros.
- Edad inicio de la floración: la edad cuando 50% de las plantas tienen por lo menos 1 flor.
- Edad de madurez: la edad cuando 90% de las vainas están secas
- Número de vainas por planta: promedio de tres plantas por surco.
- Número de semillas por vaina: promedio de 3 vainas por surco.
- Peso de 100 semillas y color de la semilla.
- Rendimiento (kg/ha).

En el caso de la evaluación de la composición elemental química de las hojas, se recolectaron las muestras a los 35-40 días después de la siembra, tomando 20 g de la masa foliar de cada unidad experimental en las 3 repeticiones. Para determinar las características químicas de la hoja, primeramente se tomó el peso fresco y después se colocó las muestras en el horno a 70° C por lo menos con 24 horas o hasta alcanzar el peso constante, y se volvió a pesar para hallar el peso seco de la muestra.

Para la caracterización de la composición elemental de la semilla y de la parte foliar, se determinó la composición de 11 elementos químicos: Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro, (Fe), Manganeso (Mn), Cinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Aluminio (Al), y Cobre (Cu), usando el método de ceniza seca (Perkin-Elmer, 1994). Se tomaron muestras de semillas de las 3 repeticiones y se secó en el horno a 70° C hasta alcanzar el peso constante. Después de secar la muestras y alcanzado el peso constante, se realizó la maceración de las muestras. En las muestras de semilla macerada e incinerada se añadieron 20 ml de 33% HCl en el crisol, y se calentó hasta que el volumen disminuyó aproximadamente 10 mL.

Después de completar la digestión, cada muestra de la solución del crisol fue transferida a un matraz volumétrico de 100 mL con agua doble destilada caliente a través de papel filtro Whatman No.541. Después de enfriar la solución en el matraz volumétrico, se añadió agua doble destilada para completar el volumen a 100 ml, que fue usado para la determinación de la composición elemental usando espectroscopia de emisión óptica con fuente de plasma de acoplamiento (ICP-OS) (Perkin, 1994).

Para la concentración de nitrógeno con objetivo de determinar proteína, se utilizó el método de microkjeldahl (Foss, 2002). Para este propósito se pesaron 0.2 g de la muestra de la semilla u hoja y este fue transferido al tubo de digestión. Se añadieron 3 bolas de cristal y una pastilla del catalizador (mezcla de 1.5g K_2SO_4 y 1.5g $CuSO_4$) dentro del tubo de digestión. En el siguiente paso se añadieron 5 mL de H_2SO_4 concentrado para destruir la materia orgánica y se adicionó 3 mL de H_2O_2 al 30% y se agitó en el vortex. Las muestras fueron digeridas en el bloque de digestión por 2 horas a una temperatura de $380^{\circ}C$.

Después, se preparó el destilador Kjeltex 2100 FOSS y añadieron 40 ml de NaOH (40%) dentro del tubo de digestión, para destilar aproximadamente 150 ml en el frasco de Erlenmeyer por 5 minutos. Se realizó la titulación de la muestra destilada con HCl 0.2N estandarizada para determinar nitrógeno total. Finalmente, se calculó la concentración del nitrógeno con la siguiente fórmula: $\%N = \text{ml (HCl muestra)} - \text{ml (HCl de blanco)} \times \text{Factor N/g muestra} \times 10, \%$ [$\% \text{ Proteína} = \% N \times 6.25$]

Los datos de campo y del laboratorio fueron procesados a través del programa estadístico Infostat, donde se realizó un análisis de varianza y las medias fueron comparadas por la prueba de DMS con 5 % de probabilidad.

Resultados y Discusión

Los análisis estadísticos realizados en este estudio demuestran diferencias significativas entre los genotipos de caupí para la mayoría de los parámetros cuantitativos evaluados. Los genotipos de Angola presentaron una gran variabilidad en el color de grano que varió de marrón, marrón con mancha, violeta oscuro y rojo. Pero, el color que predominó fue el color marrón (Tabla 2). En contraste, las variedades mejoradas de California presentaron el color crema con hilo negro en sus granos. El germoplasma de África Occidental representa varios países tales como: Senegal, Nigeria, Ghana y Burkina Faso donde el color de grano mostró gran variabilidad desde crema con hilos negros, a marrón y marrón con manchas.

Se observó la forma de grano romboide en la mayoría de los genotipos de germoplasma de Angola, excepto 124/1764-2, 124/1222-3 y 2870-1 que fueron reniformes. La forma del grano del germoplasma de California varió de reniforme a romboide, pero predominó la forma reniforme representado por los genotipos 524B, y CB27 (Tabla 2). Las formas romboide y reniforme del grano fueron las más notorias en el germoplasma de África Occidental, excepto el genotipo UCR 288(Tvx1948). Los hallazgos encontrados sobre la forma del grano de los genotipos de África Occidental son similares a los de germoplasma de Angola. Esto puede justificarse por el hecho de que ambos grupos son originarios del mismo centro de origen (Vavilov, 1926; Pasquet, 2000). Todo el germoplasma de Puerto Rico mostró la forma romboide.

El hábito de crecimiento indeterminado y postrado se evidenció en todos los genotipos del germoplasma de Angola en las dos siembras, con excepción de los genotipos 12/2783-1 y 124/2783-4, que tuvieron crecimiento determinado arbustivo.

Las variedades criollas de Angola no son mejoradas y además han sido cultivadas durante años por los agricultores para alimentar a sus familias. Su interés en la comida angolana le brinda

cierta importancia para la seguridad alimentaria, ya que las hojas, granos verdes y secos son parte de la dieta. Todo el germoplasma de California presentó hábito de crecimiento determinado arbustivo en las dos siembras, porque son utilizados con fin comercial y se hace la cosecha mecanizada. Lo mismo se observa en los genotipos del germoplasma de África Occidental que tienen los hábitos de crecimiento determinado arbustivo y postrado, con excepción del genotipo IT 98K-555-1 (Tabla 2). También en las líneas de Puerto Rico se manifestaron hábitos de crecimiento determinado.

El vigor de la planta es una característica importante para la selección de genotipos con buena adaptación. Se encontraron diferencias significativas entre los genotipos para lecturas de vigor en ambas siembras (Tabla 2). La media de las lecturas de vigor del germoplasma de Angola para la siembra de diciembre de 2010 (5) fue superior al promedio de vigor de la siembra de marzo de 2010 (4). Para el germoplasma de California, el promedio de las lecturas de vigor de la planta fue 5 en las dos siembras, considerado intermedio según el descriptor de caupí (Bioversity (International, 2007)). Con relación al germoplasma de África Occidental, las dos siembras de 2010 tuvieron medias de 4 para las lecturas de vigor. Esto difiere del germoplasma de California que alcanzó la media de 5 en las dos siembras. Se pudo observar que las medias del vigor de los genotipos fueron similares al germoplasma de Angola en las dos siembras. El germoplasma de California mostró medias superiores entre todos los germoplasmas.

La floración de caupí es afectada por la interacción de fotoperiodo y la temperatura (Wien and Summerfield 1980; Linneman et al., 1994). El germoplasma de Angola tuvo un intervalo de días para 50% de floración que fue de 42 a 65 días, con una media de 53 días, mientras que la siembra de diciembre 2010 fue de 50 a 61 días, con una media de 54 días. Todas las líneas de California florecieron a los 40 días en la siembra de marzo de 2010. El intervalo en

la siembra de diciembre 2010 fue de 46 a 47 días, con la media de 47 días. Esta diferencia fue notable con relación a la primera siembra, esto corrobora con lo dicho anterior, sobre la interacción de fotoperiodo y temperatura. A pesar de esta diferencia entre las dos siembras, las medias de floración fueron inferiores si comparamos con el germoplasma de Angola. Se pudo constatar la misma situación para el germoplasma de África Occidental en la primera siembra de marzo de 2010. El intervalo fluctuó entre 39 a 50 días, con una media de 43 días, mientras que la siembra de diciembre 2010 tuvo el intervalo de 48 a 55 días, con una media de 51. Como se demostró anteriormente, casos similares de diferencias entre siembras acontecieron en los diferentes germoplasmas, el de África Occidental tuvo un mayor número de días de floración con relación al germoplasma de California y menor días de floración comparado con el germoplasma de Angola (Tabla 2). Las líneas de Puerto Rico tuvieron un intervalo de días para floración de 41 a 46 días con la media de 44 días para la siembra de marzo de 2010 y de 46 a 53 días en la siembra de diciembre de 2010 que alcanzó una media de 50 días. El germoplasma de California floreció antes que los otros grupos de germoplasma.

Los días a la maduración variaron de 67 a 82 entre los todos los genotipos de los grupos de germoplasmas con una media de 71 días en la siembra de marzo 2010 (Tabla 2). Esto sería clasificado como maduración medio-temprana (Freire Filho et al., 2000). Por lo general, el germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010, fue más tardío que el germoplasma de otras regiones del mundo (Tabla 2). El promedio de días a la madurez fue 76 para los genotipos de Angola, 68 días para las líneas de California, 71 para el germoplasma de África Occidental y 70 para los testigos. Sin embargo, tres líneas de Angola maduraron en ≤ 70 días después la siembra. El germoplasma de Angola en la siembra de diciembre 2010 el intervalo fue de 81 a 93 días, con la media de 89 días.

Sería importante determinar por qué los agricultores en Angola han seleccionado variedades indeterminadas y tardías. Variedades tardías producirían una mayor cantidad de biomasa que sería ventajoso para la producción de forraje o para la cosecha de hojas para consumo humano.

El conocimiento de las características morfo-agronómicas tiene gran implicación en los trabajos de selección porque permite a los programas de mejoramiento genético tomar decisiones informadas. Los genotipos 124/2783-1, 124/2169-1 y 2870-1 de Angola mostraron características útiles como el color del grano comercial, buen vigor de la planta, en comparación del resto de los genotipos. Del mismo modo, dentro del germoplasma de California se puede destacar las líneas 524B, CB27, CB46 porque tienen el hábito de crecimiento determinado y madurez temprana. Se pueden utilizar estas líneas como progenitores en cruzamientos con germoplasma de Angola. Ife Brown, IT82E-18, IT90K-284-2 y IT84S-2049 son germoplasmas de África Occidental que se destacan por su forma de grano y madurez temprana. Las líneas de Puerto Rico sobresalientes fueron Gorda, PI 441917 y Red River por su color del grano y madurez temprana.

Tabla 2. Características morfo-agronómicas de germoplasma de caupí de Angola, California y África Occidental sembrada en Isabela, Puerto Rico en marzo y diciembre de 2010.

Genotipo	Color de grano	Forma de grano	Hábito de crecimiento	Vigor de la planta ¹		Días _50% floración		Días de maduración	
				marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
Angola									
030714-1	Marrón (M.)	Romboide	I. arbustivo	4	5	50	51	75	81
030714-4	M. con mancha	Romboide	I. postrado	4	6	52	56	78	93
124/1375-3	Marrón	Romboide	I. postrado	4	5	48	51	69	90
124/1454-4	Violeta oscuro	Romboide	I. postrado	5	5	60	58	82	93
124/1454-5	Marrón	Romboide	I. postrado	5	5	63	57	74	93
124/1731-1	M. con mancha	Romboide	I. postrado	5	6	55	54	78	90
124/1731-4	M. con mancha	Romboide	I. postrado	5	4	62	57	78	89
124/1764-2	Marrón	Reniforme	I. arbustivo	5	4	43	61	82	93
124/1859-2	Marrón	Romboide	I. postrado	4	.	64	.	82	.
124/2122-3	Marrón	Reniforme	I. postrado	4	.	58	.	72	.
124/2169-1	Marrón	Romboide	I. arbustivo	5	5	45	51	71	86
124/2783-1	Marrón	Romboide	I. postrado	3	4	45	50	67	86
124/2783-4	Marrón	Romboide	I. postrado	4	5	42	50	78	85
2870-1	Marrón	Reniforme	I. postrado	4	5	51	54	75	93
2870-5	Rojo	Romboide	I. arbustivo	4	4	45	56	70	87
124/2983-5	Marrón	Romboide	I. postrado	4	.	65	.	82	.
Rango				3-5	4-6	42-65	50-61	67-82	81-93
Media				4	5	53	54	76	89

¹ Basada en una escala de 3 a 9, donde 3=no vigoroso; 5=intermedio; 7=vigoroso; 9=muy vigoroso

M=marrón=Indeterminado

Tabla 2. Continuación

Genotipo	Color de grano	Forma de grano	Hábito de crecimiento	Vigor de la planta ¹		Días _50% floración		Días de maduración	
				marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
<u>California</u>									
524B	Crema	Reniforme	D. arbustivo	5	5	40	47	68	83
CB 27	Crema	Reniforme	D. arbustivo	5	5	40	47	68	86
CB 46	Crema	Romboide	D. arbustivo	5	6	40	46	68	81
Rango				5	5-6	40	46-47	68	81-86
Media				5	5	40	47	68	83
<u>África Occidental</u>									
Apagbaala	Crema	Romboide	D. arbustivo	3	3	44	53	68	88
Bambey 21	Crema	Reniforme	D. arbustivo	5	4	42	48	70	86
Ife Brown	Marrón	Romboide	D. arbustivo	5	4	41	51	67	90
IT82E-18	M. con mancha	Romboide	D. arbustivo	4	3	43	52	67	90
IT84S-2049	Marrón	Reniforme	D. arbustivo	5	4	39	48	67	85
IT90K-284-2	M. con mancha	Romboide	D. postrado	5	5	43	52	68	88
IT95K-1491	Crema	Romboide	D. arbustivo	4	5	41	52	70	90
IT97-499-39	Marrón	Romboide	D. arbustivo	4	3	41	51	68	85
Melakh	Blanco	Reniforme	D. arbustivo	5	5	41	48	69	86
Mouride	Marrón	Romboide	D. arbustivo	4	4	45	52	76	88
Yacine	Marrón	Reniforme	D. postrado	4	5	44	50	70	81
58-57	Crema	Reniforme	D. postrado	4	4	47	53	82	90

¹ Basada en una escala de 3 a 9, donde 3=no vigoroso; 5=intermedio; 7=vigoroso; 9= muy vigoroso

M=marrón; D=determinado

Tabla 2. Continuación

<u>Genotipo</u>	<u>Color de grano</u>	<u>Forma de grano</u>	<u>Hábito de crecimiento</u>	<u>Vigor de la planta</u> ¹		<u>Días 50% floración</u>		<u>Días de maduración</u>	
				marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
<u>África occidental</u>									
IT98K-555-1	Marrón	Romboide	I. postrado	5	5	45	51	75	88
KVx403-P-20-T	Marrón	Romboide	D. postrado	3	4	45	52	75	85
KVX525	Blanco	Romboide	D. arbustivo	3	4	42	52	74	88
SuVita 2	Marrón	Reniforme	D. postrado	4	4	43	49	74	83
UCR									
288(TVx1948)	Marrón	Ovoide	D. arbustivo	4	4	50	55	70	86
Tvu 7778	Marrón	Reniforme	D. postrado	3	3	44	50	67	83
Rango				3-5	3-5	39-50	48-55	67-82	81-90
Media				4	4	43	51	71	87
<u>Puerto Rico</u>									
Gorda	Crema	Romboide	D. arbustivo	3	5	41	46	70	88
PI 441917	M. con mancha	Romboide	D. postrado.	5	6	46	51	70	89
Red River		Romboide	D. postrado	.	4	.	50	.	88
Iron Clay C.		Romboide	D. arbustivo		4		53		82
Rango				.	4-6	41-46	46-53	.	82-89
Media				4	5	44	50	70	87
Rango general				3-5	3-6	39-65	46-61	67-82	81-93
Media general				4	5	47	52	71	87
DMS(0.05)				1.4	0.5	5.2	3.8	6.9	NS
CV(%)				21.1	29.0	6.5	5.1	5.8	7.9

¹ Basada en una escala de 3 a 9, donde 3=no vigoroso; 5=intermedio; 7=vigoroso; 9=muy vigoroso

M=marrón; I=Indeterminado; África O=África Occidental

Se encontraron diferencias significativas entre los genotipos de caupí para rendimiento de semilla y sus componentes (Tabla 3). El número de vainas por planta de germoplasma de Angola variaron de 4 a 22 en la siembra de marzo de 2010 con una media de 10 vainas por planta, mientras que en la siembra realizado en diciembre 2010 hubo un rango de 13 a 29 vainas por planta con una media de 20 vainas por planta. Esto demuestra el efecto de la interacción de fotoperiodo y temperatura en el desarrollo fenológico de la planta, ya que la siembra de marzo 2010 coincidió con días largos y calurosos. Cabe señalar, sin embargo, que la diferencia en fotoperiodo entre siembras de diciembre y marzo es apenas dos horas. Resultados similares fueron encontrados por Craufurd et al, (1996) donde hicieron estudios de efecto de temperatura de las variedades criollas de África Occidental. El crecimiento y desarrollo de los genotipos 124/1375-3, 124/2169-1, 124/2783-4 de Angola fueron menos afectados por el factor climático de verano e invierno. Todos estas líneas produjeron por lo menos 17 vainas por planta durante ambas fechas de siembra.

El germoplasma de California en la siembra de marzo de 2010 variaron de 19 a 31 vainas por planta con una media de 26 vainas (Tabla 3). Los genotipos durante la siembra de diciembre de 2010 produjeron un rango de 20 a 26 vainas por planta alcanzando una media de 23 vainas. Dentro de cada línea de California hubo poca diferencia entre fechas de siembra para el número de vainas por planta.

Los promedios de número de vainas por planta del germoplasma de África Occidental fluctuaron de 9 a 34 vainas por planta, con una media de 19 vainas; y entre 17 a 32 vainas por planta, con una media de 22 plantas para siembra en diciembre 2010. La mayoría de las líneas de África Occidental produjeron por lo menos 17 vainas por planta, esto indica que este grupo tiende a tener mejor adaptación a los días más largos y temperaturas cálidas. Es interesante notar

que Apagbaala, Bambey 21, Ife Brown y IT 82E-18 produjeron un mayor número de vainas por planta durante la siembra de marzo 2010.

Estos resultados indican la posibilidad de seleccionar genotipos de caupí con adaptación a días largos y a altas temperaturas. Ehlers y Hall (1996) demostraron que hay tres clasificaciones de genotipos con relación al fotoperiodo que son: días cortos, largos y neutral. Las líneas PI 441917 y Gorda produjeron un número similar de vainas por planta durante las dos fechas de siembra. Haciendo una comparación, las medias de África Occidental son similares con las medias del germoplasma de Puerto Rico en las dos siembras, 19 y 22 vainas, mientras que son diferente para la siembra de marzo 2010 en el germoplasma de Angola y California (Tabla 3)

Para el número de semillas por vaina en la siembra de marzo 2010 de germoplasma de Angola variaron de 10 a 16 semillas con media de 13 semillas, mientras que 13 a 18 semillas con media de 16 semillas fue para la siembra de diciembre 2010, una diferencia de tres semillas. En el caso del germoplasma de California, la media fue de 9 semillas con un intervalo de 8 a 10 semillas por vaina en la siembra de marzo 2010, y sigue la siembra de diciembre con un intervalo de 13 a 14 semillas con media de 14 semillas, superior a la siembra anterior. Se puede verificar que hubo un aumento de vainas en la siembra de diciembre de 2010 en los dos grupos de germoplasmas (Angola y California) y se apreció mayor número de semillas por vainas en el grupo de Angola. Con relación al germoplasma de África Occidental los valores de las semillas por vaina fluctuaron entre 7 a 15 semillas con media de 11 semillas en la siembra de marzo 2010 y 13 semillas como media en la siembra de diciembre 2010 en un intervalo de 9 a 17 semillas por vaina. Estos resultados no se difieren significativamente con los valores encontrados en el germoplasma de California pero sí con el germoplasma de Angola. A seguir el germoplasma de Puerto Rico tuvo un intervalo de 13 a 16 semillas por vaina con la media de 15 semillas por

vaina en la siembra de diciembre de 2010, mientras que en la siembra de marzo 2010 la media fue de 14 semillas por vaina. En cuanto al número de semillas por vaina el germoplasma de Angola mostró mayor promedio, seguido del germoplasma de Puerto Rico y el germoplasma de California, y las de África Occidental fueron las que presentaron menor promedio.

El intervalo de peso de 100 semillas para germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010 osciló entre 8 a 14 gramos, con una media 10 g, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 11 a 17 g con media de 14 g. Para el germoplasma de California, el intervalo de peso de 100 semillas fue entre 15 g y 18 g con media de 16 g en la siembra de marzo 2010. Sin embargo para la siembra de diciembre de 2010, el intervalo osciló 18 a 19 g con una media de 18 g, superior comparando con las dos siembras de germoplasma de Angola. Estas variedades también tienen granos grandes, lo que justifica el gramo promedio de la semilla si lo comparamos con el germoplasma de Angola que tiene granos pequeños, medianos y grandes. Para el germoplasma de África Occidental el intervalo fue de 8 a 17 g por 100 semillas con media de 13 g en la siembra de marzo 2010, mientras que la siembra de diciembre 2010 el intervalo fue de 11 a 19 g con una media de 15 g. Las medias de las dos siembras de germoplasma de África Occidental son inferiores si comparamos con las medias de las dos siembras de germoplasma de California (16 g y 18 g) y superior a las medias de las dos siembras de germoplasma de Angola (10 g y 14 g). Para el germoplasma de Puerto Rico en la siembra de marzo 2010 el intervalo fue de 12 a 19 g con media de 16 gramos, mientras que la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 11 a 21 g con media de 14 g. Los germoplasmas de California y Puerto Rico presentaron las medias de peso de 100 semillas superior en la siembra de marzo de 2010, pero para la siembra de diciembre de 2010 los que tuvieron las medias altas fueron los germoplasmas de África Occidental y California.

Con relación al rendimiento, el intervalo de germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010 fue de 27 a 1,217 kg/ha con media de 453 kg/ha. Los genotipos 124/1375-3, 124/2169-1, 124/2783-4 y 2870-5 presentaron rendimientos superiores de 1000 kg/ha. Un rendimiento de 1000 kg/ha es cuatro veces mayor el promedio de rendimiento de caupí en Angola. La siembra de diciembre 2010 el intervalo fue de 792 a 1293 kg /ha con una media de 1,025 kg/ha, superior a la siembra anterior. Pero si lo comparamos con el germoplasma de California, en la siembra de marzo 2010 los valores de rendimiento oscilaron entre 1,172 a 1,515 kg por ha con la media de 1,356 kg/ha, y para la siembra de diciembre 2010 el intervalo fue de 517 a 779 kg/ha con una media de 676 kg/ha. Los genotipos de germoplasma de California tuvieron rendimientos muy elevados si lo comparamos con la media de germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010, pero en la siembra de diciembre 2010 fue lo contrario. Para el germoplasma de África Occidental en la siembra de marzo 2010, el intervalo osciló 62 a 1,687 kg por hectárea con la media 844 kg/ha, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 230 a 1,073 kg/ha con media de 654 kg/ha. Los genotipos Bambey 21, Ife Brown, IT82E-18, IT97-499-39, IT98K-555-1, UCR 288(TVx1948) alcanzaron medias superior de 1000 kg/ha en la siembra de marzo de 2010. Con relación a las líneas de Puerto Rico, para la siembra de marzo de 2010, el intervalo fue de 987 a 1,639 kg/ha con media 1,313 kg/ha, lo cual fue superior a los germoplasmas de Angola y África Occidental, pero inferior a la media de California. Sin embargo, en la siembra de diciembre de 2010, el intervalo fue de 589 a 1,683 kg/ha con una media de 976 kg/ha, superior al de todos los germoplasmas. En cuantos a los genotipos, la media mayor fue de Ife Brown, 1,687 kg/ha en la siembra de marzo de 2010, mientras para la siembra de diciembre de 2010 el genotipo PI 441917 tuvo la media de 1,683 kg/ha, la mayor entre todos los genotipos.

Tabla 3. Rendimiento y sus componentes de germoplasma de caupí de Angola, California y África Occidental sembrada en Isabela, Puerto Rico en marzo de 2010 y diciembre 2010.

Genotipo	# de vainas por planta		# de semillas por vaina		Peso de 100 semillas (g)		Rendimiento (kg/ha)	
	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2011	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
Angola								
030714-1	4	21	15	15	8	11	157	949
030714-4	9	19	10	14	8	11	238	1117
124/1375-3	22	22	14	17	8	12	1096	1181
124/1454-4	6	19	12	16	11	17	124	941
124/1454-5	7	18	13	16	11	14	247	1073
124/1731-1	8	20	13	15	11	16	261	957
124/1731-4	11	15	13	17	11	14	589	1026
124/1764-2	6	13	13	13	12	17	82	792
124/1859-2	4	.	12	.	14	.	97	.
124/2122-3	4	.	12	.	8	.	49	.
124/2169-1	19	19	16	16	10	14	1040	1030
124/2783-1	18	29	12	17	9	13	870	1091
124/2783-4	17	22	14	16	9	12	1028	1053
2870-1	11	19	15	18	9	13	121	823
2870-5	14	21	15	15	10	12	1217	1293
124/2983-5	4	.	11	.	8	.	27	.
Rango	4-22	13-29	10-16	13-18	8-14	11-17	27-1217	792-1293
Media	10	20	13	16	10	14	453	1025

Tabla 3. Continuación

Genotipo	# de vainas por planta		# de semillas por vaina		Peso de 100 semillas(g)		Rendimiento (kg/ha)	
	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
<u>California</u>								
524B	31	26	9	13	18	19	1515	779
CB 27	19	20	8	14	15	18	1172	517
CB 46	27	24	10	14	16	18	1380	732
Rango	19-31	20-26	8-10	13-14	15-18	18-19	1172-1515	517
Media	26	23	9	14	16	18	1356	676
<u>África</u>								
<u>Occidental</u>								
Apagbaala	24	19	7	9	11	14	553	644
Bambey 21	34	22	12	13	14	13	1127	468
Ife Brown	28	18	11	11	11	13	1687	1051
IT82E-18	29	18	15	17	14	17	1152	405
IT84S-2049	17	32	12	13	10	12	702	1028
IT90K-284-2	15	26	13	14	15	18	974	603
IT95K-1491	19	28	8	12	16	19	315	245
IT97-499-39	19	23	11	15	13	18	1373	960
Melakh	18	20	11	12	17	18	671	533
Mouride	21	23	11	14	14	15	862	473
Yacine	18	25	11	12	16	18	684	721
58-53	9	.	12	.	9	.	62	.
58-57	9	17	10	13	9	11	101	230

Tabla 3. Continuación

Genotipo	# de vainas por planta		# de semillas por vaina		Peso de 100semillas(g)		Rendimiento (kg/ha)	
	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010	marzo 2010	diciembre 2010
<u>África Occidental</u>								
IT98K-555-1	19	21	11	12	13	17	1044	1073
KVx403-P-20-T	21	20	10	13	13	14	1343	710
KVX525	15	22	10	12	13	15	667	628
SuVita 2	17	27	9	12	15	16	657	337
UCR								
288(TVx1948)	17	21	11	15	9	13	1202	946
Tvu 7778	20	19	15	15	8	11	858	725
Rango	9-34	17-32	7-15	9-17	8-17	11-19	62-1687	230-1073
Media	19	22	11	13	13	15	844	654
<u>Puerto Rico</u>								
Gorda	21	19	14	16	12	14	987	614
PI 441917	16	19	14	16	19	21	1639	1683
Red River	.	25	.	13	.	11	.	589
Iron Clay C.	.	23	.	14	.	11	.	1018
Rango.	16-21	19-25	14	13-16	12-19	11-21	987-1639	589-1683
Media.	19	22	14	15	16	14	1313	976
Rango general	4-34	13-32	7-16	9-18	8-19	11-21	27-1687	230-1683
Media general	16	21	12	14	12	15	749	817
DMS(0.05)general	39.1	10	3	3	2	3	778	426.1
CV(%) general	11.4	28.9	14.6	12.4	7.6	9.0	48.8	37.0

La tabla 4 enseña las medias de los macronutrientes de la siembra de marzo 2010 y diciembre 2010. De acuerdo con el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre los genotipos de caupí para todos los elementos, con excepción del calcio en la siembra de diciembre 2010. Con relación a proteína, no se encontraron diferencia entre todos grupos de germoplasmas.

Para el germoplasma de Angola, el porcentaje de fósforo en la siembra de marzo de 2010 tuvo intervalo de 0.45 a 0.55%, con una media de 0.49%, mientras que la siembra de diciembre de 2010 el intervalo osciló de 0.44 a 0.59 %, con una media de 0.53 %, superior a la siembra de marzo 2010. El germoplasma de California tuvo un intervalo de 0.50 a 0.53 % de fósforo, con media de 0.51 %, comparando con la siembra de diciembre de 2010 obtuvo un intervalo 0.43 a 0.57 % con una media de 0.52 %, que no difirió significativamente de la siembra de marzo de 2010. Por lo tanto comparando las medias de porcentaje de fósforo de las dos siembras de germoplasma de Angola (0.49 y 0.53), difiere de las siembras de germoplasma de California (0.51 y 0.53 %). Las líneas de África Occidental en la siembra de marzo de 2010 presentó un intervalo de 0.42 a 0.54 % de fósforo con una media de 0.50 %, sin embargo en la siembra de diciembre de 2010 tuvo un intervalo de 0.39 a 0.65 %, con media de 0.50 %. No hubo diferencias entre ambas siembras. Analizando los datos de fósforo de germoplasma de África Occidental en las dos siembras (0.50 y 0.50%) no fueron superiores a los datos de germoplasma de California (0.51 y 0.53 %) ni a los datos de germoplasma de Angola con la excepción en primera siembra (0.49 y 0.53 %). Para el germoplasma de Puerto Rico, en la siembra de marzo de 2010 el intervalo fue de 0.48 a 0.56 %, con media de 0.52 %, pero para la siembra de diciembre 2010 presentó un intervalo de 0.49 a 0.56% con la media de 0.53%, superior a la anterior. El germoplasma de Puerto Rico en la primera siembra presentó la media de fósforo

(0.52%) superior de todos los grupos, sin embargo en la siembra de diciembre fue similar al germoplasma de Angola (0.53%) y germoplasma de California (0.53%), pero diferente al del germoplasma de África Occidental (0.50%).

Las medias de potasio del germoplasma de Angola en la siembra de marzo de 2010 variaron de 1.20 a 1.69 % con la media de 1.48 %, y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 1.14 a 1.78 % con la media de 1.28 %, inferior a la media anterior.

Para el germoplasma de California, el intervalo de porcentaje de potasio en la siembra de marzo de 2010 fue de 1.21 a 1.27 % con una media de 1.25 %, sin embargo en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.98 a 1.03 % con la media de 1.01%, inferior a la siembra anterior.

En las dos siembras las medias (1.25% y 1.01%) de germoplasma de California fueron inferior a las medias de las dos siembras de germoplasma de Angola (1.48% y 1.28%). Con relación al germoplasma de África Occidental, el porcentaje de potasio en la siembra de marzo de 2010 tuvo el intervalo de 1.12 a 1.50 %, con media de 1.29 %, y para la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.88 a 1.22 % con la media de 1.02 % de inferior a la siembra anterior. Las medias de las siembras de germoplasma de África Occidental (1.29% y 1.01%) fueron similar al de la media de la siembra de diciembre 2010 (1.01 %) del germoplasma de California, pero diferente en la siembra de marzo de 2010 (1.25%). En base a los datos de la media de germoplasma de Puerto Rico, el porcentaje de potasio en la siembra de marzo 2010 tuvo el intervalo de 1.31 a 1.36 %, con la media de 1.34%, mientras que la siembra de diciembre el intervalo fue de 1.05 a 1.17 % con la media de 1.11 %, inferior a la siembra de marzo de 2010. Las medias en porcentaje de potasio de germoplasma de Puerto Rico (1.34% y 1.11 %), en las dos siembras demostraron ser superior a las medias de las siembras de germoplasma de California

(1.25% y 1.01%) y África Occidental (1.29% y 1.01%). Sin embargo fueron inferior a las medias de las siembras de germoplasma de Angola (1.48% y 1.28%).

Para el porcentaje de calcio, el germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010 tuvo el intervalo de 0.008 a 0.07 %, con una media 0.04 % y para la en la siembra de diciembre 2010 no se encontraron diferencias estadísticas significativas, pero el intervalo fue de 0.07 a 0.13% con una media de 0.09 %, superior al de la siembra anterior. El germoplasma de California en la siembra de marzo de 2010 tuvieron de 0.04 a 0.05 % de calcio con una media 0.04 %, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las líneas con una media de 0.07 %, superior al de la siembra de marzo 2010. El porcentaje de calcio para el germoplasma de África Occidental en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 0.02 a 0.07 % con una media de 0.05 %, y para la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue 0.05 a 0.24% con una media de 0.08%, superior al de la siembra de marzo de 2010. Por lo tanto las medias de porcentaje de calcio de las siembras de germoplasma de África Occidental (0.05% y 0.08%) fueron diferentes con relación a los germoplasmas de Angola (0.008% y 0.09%) y California (0.04% y 0.07%). Las líneas de Puerto Rico en la siembra de marzo 2010 tuvieron un intervalo de 0.02 a 0.05% de calcio con una media de 0.04% y para la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.05 a 0.07%, con una media de 0.07 % superior de la media anterior. Las medias de porcentaje de calcio de germoplasma de Puerto Rico (0.04% y 0.07%) fueron similares a las medias de porcentaje de calcio de germoplasma de California, sin embargo diferentes a las medias de calcio de germoplasma de África Occidental (0.05% y 0.08%) y el del germoplasma de Angola (0.008% y 0.09%).

El porcentaje de magnesio del germoplasma de Angola en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 0.17 a 0.20 % con una media de 0.19, y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.23 a 0.26 con la media de 0.24 %, superior a la siembra anterior.

Para el germoplasma de California, el porcentaje de magnesio en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 0.19 a 0.21% con una media de 0.20 %, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.21 a 0.23 % con una media de 0.22%, superior a la siembra de marzo 2010. La media de germoplasma de California en la siembra de marzo de 2010 (0.20%) fue superior que la media de germoplasma de Angola en la siembra de marzo 2010 (0.19%), sin embargo la media de la siembra de diciembre 2010 de germoplasma de California (0.22 %) fue inferior en comparación a la media de germoplasma de Angola (0.24%) en la misma siembra.

En base los datos de media de porcentaje de magnesio, el germoplasma de África Occidental en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 0.1 a 0.2 % con una media 0.18 % y para la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 0.10 a 0.24% con una media de 0.19%, superior al de la media anterior. Las medias de las dos siembras de germoplasma de África Occidental (0.18 % y 0.19%) fueron inferior a las medias de porcentaje de magnesio de germoplasma de Angola (0.19% y 0.24%) y germoplasma de California (0.20% y 0.22%).

Tabla 4. Composición de los elementos en la semilla de germoplasma de caupí de Angola, California y África Occidental sembrada en Isabela, Puerto Rico en marzo y diciembre de 2010.

Genotipo	marzo 2010						diciembre 2010					
	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
<u>Angola</u>												
030714-1	25	4.08	0.45	1.46	0.034	0.19	24	3.84	0.57	1.33	0.07	0.25
030714-4	25	3.97	0.47	1.46	0.041	0.19	23	3.68	0.52	1.14	0.08	0.25
124/1375-3	26	4.21	0.52	1.51	0.067	0.19	24	3.89	0.55	1.78	0.13	0.23
124/1454-4	28	4.52	0.50	1.69	0.025	0.22	25	4.01	0.44	1.25	0.08	0.26
124/1454-5	26	4.16	0.51	1.2	0.025	0.18	24	3.81	0.50	1.16	0.08	0.23
124/1731-1	27	4.27	0.52	1.57	0.034	0.17	25	4.01	0.55	1.23	0.07	0.25
124/1731-4	27	4.35	0.55	1.51	0.033	0.21	24	4.01	0.50	1.16	0.08	0.23
124/1764-2	26	4.11	0.46	1.6	0.032	0.19	24	3.84	0.51	1.23	0.09	0.23
124/1859-2	26	4.23	0.51	1.44	0.04	0.21	.	.	.	.	.	.
124/2122-3	27	4.36	0.46	1.56	0.011	0.18	.	.	.	.	.	.
124/2469-1	27	4.3	0.54	1.43	0.046	0.19	25	3.92	0.54	1.19	0.09	0.24
124/2783-1	26	4.24	0.47	1.44	0.045	0.19	24	3.80	0.59	1.34	0.07	0.25
124/2783-4	26	4.08	0.51	1.47	0.048	0.19	23	3.67	0.59	1.28	0.10	0.25
2870-1	26	4.21	0.49	1.41	0.04	0.17	26	4.13	0.49	1.21	0.10	0.23
2870-5	25	4.03	0.46	1.42	0.048	0.19	22	3.45	0.52	1.30	0.09	0.26
124/2983-5	28	4.45	0.45	1.56	0.008	0.18	.	.	.	.	.	.
						0.17-		3.45-	0.44-	1.14-	0.07-	0.23-
Rango	25-28	4-5	0.4-0.5	1.4-1.6	0-0.07	0.20	22-26	4.13	.59	1.78	0.13	0.26
Media	26	4	0.49	1.48	0.04	0.19	24	3.85	.53	1.28	0.09	0.24

P.T=Proteína

Tabla 4. Continuación

Genotipo	% marzo 2010						% diciembre 2010					
	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
<u>California</u>												
524B	24	3.89	0.53	1.27	0.04	0.21	23	3.66	0.43	0.98	0.07	0.21
CB 27	25	3.96	0.50	1.21	0.04	0.19	23	3.67	0.57	1.03	0.07	0.22
CB 46	24	3.79	0.51	1.26	0.05	0.20	22	3.55	0.57	1.01	0.08	0.23
Rango	24-25	3.7-	0.50-	1.2-	0.04-	0.19-	22-23	3.55-	0.43-0.57	0.98-	0.07-	0.21-
Media	24	4	0.51	1.25	0.04	0.2	23	3.63	0.52	1.01	0.07	0.22
<u>África</u>												
<u>Occidental</u>												
Apagbaala	26	4.21	0.54	1.26	0.07	0.19	26	4.04	0.52	0.99	0.09	0.1
Bambey 21	24	3.89	0.51	1.19	0.06	0.19	26	4.12	0.58	1.01	0.10	0.21
Ife Brown	24	3.87	0.50	1.29	0.05	0.17	25	3.94	0.43	0.95	0.24	0.17
IT82E-18	24	3.80	0.47	1.34	0.02	0.19	24	3.76	0.49	1.09	0.05	0.22
IT84S-2049	26	4.17	0.54	1.44	0.05	0.20	25	3.96	0.65	1.22	0.08	0.23
IT90K-284-2	26	4.15	0.52	1.39	0.04	0.18	24	3.82	0.53	1.09	0.06	0.19
IT95K-1491	23	3.65	0.49	1.26	0.04	0.18	22	3.48	0.44	0.97	0.06	0.1
IT97-499-39	25	4.00	0.51	1.24	0.05	0.18	24	3.86	0.48	0.98	0.07	0.20
Melakh	25	3.96	0.51	1.26	0.04	0.16	23	3.73	0.39	0.99	0.08	0.18
Mouride	23	3.76	0.47	1.20	0.05	0.18	22	3.57	0.42	1.01	0.08	0.20
Yacine	25	3.95	0.51	1.29	0.03	0.17	24	3.84	0.62	1.07	0.07	0.20
58-57	27	4.33	0.52	1.29	0.05	0.19	26	4.17	0.48	0.98	0.09	0.23
IT98K-555-1	26	4.21	0.52	1.36	0.03	0.18	25	3.92	0.62	1.09	0.07	0.24

P.T=Proteína

Tabla 4. Continuación

Genotipo	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
			marzo 2010						diciembre 2010			
<u>África occidental</u>												
KVx403-P-20-T	21	3.42	0.42	1.12	0.057	0.146	22	3.46	0.44	0.88	0.08	0.16
KVX525	23	3.74	0.45	1.19	0.046	0.170	22	3.58	0.46	0.88	0.07	0.20
SuVita 2	23	3.74	0.43	1.23	0.044	0.162	23	3.72	0.51	1.00	0.07	0.20
UCR												
288(TVx1948)	26	4.15	0.50	1.5	0.041	0.195	24	3.91	0.43	1.20	0.08	0.23
Tvu 7778	27	4.29	0.55	1.35	0.044	0.218	24	3.90	0.47	0.91	0.07	0.24
		3.4-	0.4-	1.1-		0.1-	22-26	3.46-	0.39-	0.88-	0.05-	0.10-
Rango	21-27	4.3	0.5	1.5	0-0.07	0.2		4.17	0.65	1.22	0.24	0.24
Media	25	3.96	0.50	1.29	0.05	0.18	24	3.82	0.50	1.02	0.08	0.19
<u>Puerto Rico</u>												
Gorda	25	3.97	0.56	1.31	0.05	0.20	25	3.96	0.50	1.05	0.07	0.22
PI 441917	25	3.97	0.48	1.36	0.02	0.12	23	3.67	0.55	1.17	0.05	0.22
Red River							24	3.81	0.49	1.11	0.07	0.27
Iron Clay C.							23	3.71	0.56	1.10	0.07	0.24
			0.4-	1.31-	0.02-	0.12-		3.67-	0.49-	1.05-	0.05-	0.22-
Rango	25	3.97	0.5	1.36	0.05	0.20	23-25	3.96	0.56	1.17	0.07	0.27
Media	25	3.97	0.52	1.34	0.04	0.16	24	3.79	0.53	1.11	0.07	0.24
		3.4-	0.4-	1.1-	0.01-	0.1-		3.45-	0.39-	0.88-	0.05-	0.10-
Rango general	21-28	4.5	0.5	1.6	0.07	0.2	22-26	4.17	0.65	4.42	2.40	0.27
Media general	25	4	0.5	1.37	0.04	0.19	24	3.81	0.51	1.20	0.14	0.22
DMS	2	0.35	0.04	0.19	0.01	0.03	1.3	0.2	0.1	0.2	NS	0.04
CV(%)	5.2	4.9	5.5	8.0	16.4	9.3	3.4	3.4	16.5	10.1	457.7	9.8

P.T=Proteína

Se encontraron diferencias significativas entre las líneas de caupí en concentración de hierro (Fe), boro (B) y cobre en las semillas (Tabla 5). Los datos hallados en este análisis de los macroelementos y microelementos se ajustan según los intervalos reportados para el cultivo de caupi (Mills et al., 1996).

El hierro tiene gran influencia en la formación de hemoglobina de la sangre. Para el micronutriente hierro en la siembra de marzo de 2010, el germoplasma de Angola tuvo un intervalo de 44 ppm a 73 ppm con una media de 56 ppm, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 55 ppm a 79 ppm con la media de 64 superior a la anterior. El germoplasma de California en la siembra de marzo de 2010 alcanzó el intervalo de 41 ppm a 43 ppm de hierro con la media de 42 ppm y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue 39 ppm a 62 ppm con la media de 51 ppm. La media de parte por millón de hierro en el germoplasma de California (42 ppm y 51 ppm) en las dos siembras fue inferior a las medias de las dos siembras de germoplasma de Angola (56 ppm y 64 ppm). El germoplasma de África Occidental en la siembra de marzo de 2010 tuvo el intervalo de 38 ppm a 62 ppm de hierro con una media de 49 ppm y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 40 ppm a 68 ppm con la media de 55 ppm, superior al de la siembra anterior. El germoplasma de África Occidental con la medias de 49 ppm y 55 ppm de hierro en las dos siembras fue inferior al germoplasma de Angola, mayores medias de hierro fueron 56 ppm y 64 ppm. Sin embargo fue superior al germoplasma de California (42 ppm y 51 ppm). Las líneas de Puerto Rico en la siembra de marzo de 2010 tuvieron un intervalo de 35 ppm a 40 ppm con la media de 40 ppm y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 59 ppm a 63 ppm con una media de 61 ppm. La media de ppm de hierro de germoplasma de Puerto Rico (40) fue inferior a la media de hierro en la siembra de marzo de 2010 de los germoplasmas de California y África Occidental, sin embargo

superó los mismos grupos en la siembra de diciembre de 2010. El germoplasma de Angola tuvo la media alta en comparación a todos los germoplasmas.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la siembra de marzo 2010 para manganeso, pero el germoplasma Puerto Rico tuvo la media (21 ppm) que fue la más alta con relación a los otros grupos de germoplasmas. Por consiguiente, en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo de manganeso en el germoplasma de Angola fue de 13 ppm a 19 ppm con una media de 15 ppm. El germoplasma de California el intervalo fue de 12 ppm a 13 ppm con una media de 13 ppm, inferior del germoplasma de Angola. Con relación el germoplasma de África Occidental, el intervalo de ppm de manganeso en la siembra de diciembre 2010 fue de 8 ppm a 20 ppm con la media de 14 ppm, superior a la media de manganeso de la siembra de diciembre de germoplasma de California (13 ppm) e inferior al germoplasma de Angola (15 ppm). Para el germoplasma de Puerto Rico, el manganeso en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 11 ppm a 18 ppm con una media de 16 ppm, superior a todos los grupos de germoplasma.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos para concentraciones de cinc para las siembras de marzo de 2010 y diciembre de 2010 (Tabla 5). Los promedios de cinc fueron 42 ppm para las siembras de marzo de 2010 y 45 ppm para la siembra de diciembre de 2010

El boro en la siembra de marzo de 2010 de germoplasma de Angola tuvo un intervalo de 13 ppm a 20 ppm con una media de 16 ppm, pero el germoplasma de California presentó un intervalo de 17 ppm a 18 ppm con una media de 17 ppm que es un valor superior al del germoplasma de Angola. Para el germoplasma de África Occidental el boro tuvo un intervalo de 13 ppm a 20 ppm con una media de 16 ppm, similar al del germoplasma de Angola en la siembra

de marzo 2010, pero diferente al germoplasma de California (17 ppm). Las líneas de Puerto Rico en la siembra de marzo de 2010 tuvieron un intervalo de 16 ppm a 25 ppm de boro con una media de 21 ppm superior al de todos los grupos de germoplasma.

No se encontró diferencias estadísticas significativas entre las líneas en la siembra de marzo de 2010 la para concentración de Mo y Al. Igualmente en la siembra de diciembre de 2010 no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los germoplasmas. Los promedios de Mo fueron 3 ppm para las siembras de marzo de 2010 y 1 ppm para la siembra de diciembre de 2010. Los promedios de Al fueron 13 ppm para las siembras de marzo de 2010 y 23 ppm para la siembra de diciembre de 2010

En la siembra de marzo de 2010, el germoplasma de Angola tuvo un intervalo de 4 ppm a 9 ppm con la media de 7 ppm de cobre y en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 6 ppm a 13 ppm con una media de 13 ppm, superior a la siembra de marzo 2010. El germoplasma de California en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 11 ppm a 13 ppm de Cu, con media 12 ppm para la siembra de diciembre 2010 el intervalo fue de 10 ppm a 13 ppm, con media de 12 ppm, similar a la siembra de marzo de 2010. Las medias de cobre de germoplasma de California en las dos siembras fueron superiores a las dos siembras de germoplasma de Angola (7 ppm y 13 ppm).

Por otro lado, para el germoplasma de África Occidental, el cobre en la siembra de marzo de 2010 tuvo un intervalo de 7 ppm a 12 ppm con una media de 9 ppm, mientras que la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 7 ppm a 13 ppm con la media de 9 ppm similar de la siembra de marzo de 2010. Las medias de germoplasma de África Occidental (9 ppm y 9 ppm) fueron inferior a las medias de las dos siembras de germoplasma de California (12ppm y 12 ppm), pero superior a la media de la siembra de germoplasma de Angola (7ppm), con excepción

de la siembra de diciembre de 2010. En la siembra de marzo de 2010 las líneas de Puerto Rico tuvieron un intervalo de 10 ppm a 17 ppm con una media de 14 ppm de cobre, mientras que en la siembra de diciembre de 2010 el intervalo fue de 7 ppm a 13 ppm con la media de 9 ppm de cobre, inferior al de la siembra de marzo 2010. La media de la siembra de marzo 2010 de germoplasma de Puerto Rico fue de 14 ppm, superior con relación a todos los germoplasmas, sin embargo la siembra de diciembre de 2010 fue inferior a la media de siembra de diciembre 2010 de germoplasma de Angola (13 ppm) y el germoplasma de California (12 ppm), con excepción de África Occidental, que fueron similares.

Las siguientes variedades tuvieron medias superiores en proteína, hierro y aluminio: 030714-1, 124/1454-5, 124/1731-1, 124/1731-4 (Angola); CB 46 (California); Apagbaala, IT82E-18, IT84S-2049, Mouride, 58-57 y Kvx525 (África Occidental) y PI 441917 (Puerto Rico).

Tablas 5. Composición de los macroelementos en la semilla de germoplasma de caupí de Angola, California y África Occidental sembrada en Isabela, Puerto Rico en marzo y diciembre de 2010 en ppm.

Genotipo	marzo 2010							diciembre 2010						
	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
Angola														
030714-1	62	14	39	14	2	24	6	63	14	43	27	1	19	9
030714-4	62	14	45	18	3	12	7	60	15	43	27	2	16	7
124/1375-3	57	17	45	16	1	13	9	79	18	40	28	2	18	13
124/1454-4	62	13	56	14	1	17	6	67	14	39	24	1	23	7
124/1454-5	65	13	46	13	2	10	7	66	13	47	25	1	22	7
124/1731-1	59	14	50	15	2	12	8	66	15	47	27	2	19	8
124/1731-4	73	15	53	17	2	9	8	79	16	41	29	2	43	13
124/1764-2	59	16	36	16	3	18	5	64	15	40	26	1	18	7
124/1859-2	49	12	32	17	1	12	5	.	.	.	.	.	.	.
124/2122-3	44	14	46	20	0.02	21	5	.	.	.	.	.	.	.
124/2469-1	52	18	40	16	2	10	8	57	15	45	28	2	22	6
124/2783-1	48	17	39	16	1	18	8	58	16	46	27	1	24	7
124/2783-4	44	16	40	16	2	15	7	63	17	40	28	1	19	8
2870-1	60	14	39	16	2	12	6	59	19	42	28	1	35	8
2870-5	46	16	34	14	1	12	7	55	14	43	26	1	34	8
124/2983-5	51	16	37	18	1	12	4	.	.	.	.	.	.	.
Rango	44-73	12-18	32-56	13-20	0-3	9-24	4-9	55-79	13-19	39-47	24-29	1-2	16-43	6-13
Media	56	15	42	16	2	14	7	64	15	43	27	1	24	13

Tabla 5. Continuación

Genotipo	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
marzo 2010									diciembre 2010					
California														
524B	43	15	50	17	3	11	13	53	13	37	24	0.4	17	10
CB 27	41	13	44	18	2	17	13	62	12	53	31	1	19	13
CB 46	42	15	42	17	2	10	11	39	13	45	28	1	18	12
Rango	41-43	13-15	42-50	17-18	2-3	10-17	11-13	39-62	12-13	37-53	24-31	0.4-1	17-19	10-13
Media	42	14	45	17	2	13	12	51	13	45	28	0.8	18	12
África occidental														
Apagbaala	54	14	42	16	4	15	8	58	13	39	25	1	25	8
Bambey 21	48	15	42	17	3	10	7	62	20	42	31	1	17	9
Ife Brown	44	14	61	17	4	13	8	59	14	38	27	1	27	8
IT82E-18	44	13	54	13	4	11	8	49	14	43	25	1	14	7
IT84S-2049	59	13	42	15	3	8	12	55	14	47	29	1	25	13
IT90K-284-2	47	10	39	17	2	12	8	43	8	41	30	1	18	10
IT95K-1491	48	15	49	16	11	12	7	58	15	45	26	1	17	8
IT97-499-39	49	14	40	15	2	12	12	57	12	36	26	1	17	9
Melakh	47	12	42	15	3	10	10	40	13	44	26	1	20	8
Mouride	38	13	32	16	4	10	10	51	13	37	25	1	20	12
Yacine	45	15	40	20	4	10	9	57	13	60	32	1	21	10
58-57	59	17	45	18	4	10	9	68	17	46	24	1	45	10
IT98K-555-1	53	14	21	17	2	12	7	55	14	41	31	1	29	8

Tabla 5. Continuación

Genotipo	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
marzo 2010								diciembre 2010						
<u>África Occidental</u>														
KVx403-P-20-T	45	11	45	15	2	11	9	51	12	46	22	1	17	10
KVX525	47	13	46	16	2	10	7	61	14	65	26	1	18	7
SuVita 2	42	14	42	16	3	8	9	53	13	46	26	1	20	12
UCR288(TVx1948)	48	13	44	17	2	10	8	53	12	38	27	1	24	7
Tvu 7778	62	15	39	18	3	14	9	59	15	42	24	1	20	10
Rango	38-62	10-17	21-61	13-20	2-11	8-15	7-12	40-68	8-20	36-65	22-32	1-1	14-45	7-13
Media	49	14	43	16	3	11	9	55	14	48	27	1	22	9
<u>Puerto Rico</u>														
Gorda	45	17	45	16	3	10	11	59	16	37	27	1	17	12
PI 441917	35	25	33	25	8	17	6	63	11	42	29	1	22	9
Red River								61	17	39	24	1	34	7
Iron Clay								62	18	36	27	1	41	9
Rango	35-40	17-25	33-45	16-25	3-8	10-17	6-11	59-63	11-18	36-42	29	1-1	17-41	7-12
Media	40	21	39	21	6	14	9	61	16	39	27	1	29	9
Rango general	35-73	10-25	21-61	13-25	0.02-11	8-24	4-13	39-79	8-20	36-65	22-32	0.4-2	14-45	6-13
Media general	51	15	42	16	3	13	8	58		45	27	1.1	23	9
DMS	16.0	NS	NS	4.9	NS	NS	2.5	14.3	3.1	NS	NS	NS	NS	4.3
CV(%)	14.3	29	21.2	16.6	93.1	11.3	16.7	15.2	13.2	37.5	12.8	63.3	61.1	28.9

El porcentaje de proteína de las hojas de las líneas de caupí fue evaluada para la siembra de diciembre de 2010. No se encontraron diferencias significativas entre las líneas en % de proteína de las hojas aunque hubo un intervalo de 28 a 39 % (Tabla 6). El promedio del porcentaje de proteína de las hojas (34%) es muy superior a los promedios de porcentaje de proteína de la semilla. Estos resultados son similares a los encontrados por Bittenbender et al. (1984) y Barret, (1994) que afirman que las hojas de caupí contienen más proteína y hierro que la semilla. Esto confirma lo reportado previamente por Berry (1981) e Imbamba (1973) que el porcentaje de proteína en la hoja tiene un intervalo de 29% a 43%, aunque el porcentaje de proteína en las hojas puede variar durante el desarrollo del cultivo. Los valores de proteína en la semilla variaron entre 21 y 33%.

Se encontraron diferencias significativas entre las líneas en la concentración de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en las hojas de caupí (Tabla 6). Las hojas del germoplasma de Angola tuvieron un intervalo de 2.02 a 2.82 % para contenido de potasio, con una media de 2.38 % inferior si lo comparamos con el germoplasma de California, cuyo intervalo fue de 2.42 a 2.69% con media de 2.55%. Sin embargo el germoplasma de África Occidental tuvo un intervalo de 2.19 a 3.31% con media de 2.57%, superior al de los dos germoplasma anteriormente mencionados. Asimismo para el germoplasma de Puerto Rico el intervalo fue de 2.35 a 2.94% con media de 2.55%, similar al del germoplasma de California, pero diferente a los germoplasmas de Angola (2.38%) y de África Occidental (2.57%), la media superior de todos los germoplasmas.

Con relación al calcio el germoplasma de Angola tuvo un intervalo de 2.27 a 3.07 % con la media de 2.79, que fue superior el germoplasma de California que tuvo, un intervalo de 2.04 a 2.33% con la media de 2.18. El germoplasma de África Occidental tuvo un intervalo de 1.77 a

2.89% con media de 2.34%, superior al germoplasma de California (2.18%) e inferior al germoplasma de Angola (2.79%). Para el germoplasma de Puerto Rico el intervalo fue de 1.97 a 2.73% con una media de 2.35 %, superior al germoplasma de California (2.18 %) y África Occidental (2.34%). El germoplasma de Angola tuvo la media de 2.79% que fue superior comparado con caupí de otras regiones.

Las hojas del germoplasma de Angola tuvieron un intervalo de magnesio que osciló entre 0.33 a 0.44% con una media de 0.38%, inferior se comparamos con el germoplasma de California que tuvo la media de 0.40 a 0.50% con intervalo de 0.45%. Por otro lado el germoplasma de África Occidental tuvo un intervalo de 0.39 a 0.58 con la media de 0.44 que fue superior a la media de germoplasma de Angola (0.38 %) e inferior a la media de germoplasma de California (0.45%). El germoplasma de Puerto Rico tuvo un intervalo de 0.37 a 0.52% con media de 0.33% inferior entre todos los germoplasmas.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las líneas para concentración de fósforo en las hojas. Sin embargo, el germoplasma de caupí alcanzó un intervalo de 0.25 a 0.30% con media de 0.28%.

Los microelementos evaluados fueron hierro, boro, aluminio y cobre (Tabla 6). Las hojas del germoplasma de Angola mostraron un intervalo de hierro que oscilaron entre 329 ppm a 723 ppm, con media de 491 ppm, superior al germoplasma de California que presentó una intervalo de 352 ppm a 406 ppm con media de 388 ppm. Para el germoplasma de África Occidental el intervalo fue 301 a 524 ppm con la media de 421 ppm, superior al del germoplasma de California (388 ppm) e inferior al del germoplasma de Angola (491 ppm). El intervalo del germoplasma de Puerto Rico fue de 415 ppm a 498 ppm con media de 445 ppm, que fue superior al del germoplasma de California (388 ppm) y al germoplasma de África Occidental (421 ppm), con

excepción del germoplasma de Angola que tuvo la media de 491 ppm, superior entre todos los grupos.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos para las concentraciones de manganeso y cinc en las hojas. El germoplasma de Angola presentó una media de 266 ppm de manganeso y 23 ppm de cinc.

Para el boro se constató que el germoplasma de Angola tuvo el intervalo de 25 ppm a 36 ppm con media de 30 ppm, inferior a la media del germoplasma de California que tuvo una media de 29 ppm y un intervalo de 25 ppm a 33 ppm. El germoplasma de África Occidental alcanzó el intervalo 25 ppm a 43 ppm con media de 33%, superior al del germoplasma de Angola (30 ppm) y al germoplasma de California (29 ppm). El germoplasma de Puerto Rico tuvo el intervalo de 27 ppm a 45 ppm con media de 36 ppm, superior al resto de los germoplasmas.

En el caso de la concentración de molibdeno en las hojas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de caupí. El germoplasma de Angola tuvo la media de 0.66 ppm de molibdeno.

Las hojas del germoplasma de Angola tuvieron el intervalo de 240 ppm a 680 ppm de Al con media de 413 ppm. El germoplasma de California que tuvo el intervalo de 277 ppm a 340 ppm con media de 319, inferior al de Angola. Para el germoplasma de África Occidental el intervalo fue de 218 ppm a 485 ppm con media de 363 ppm, superior al del germoplasma de California (319 ppm) e inferior al germoplasma de Angola (413 ppm). El germoplasma de Puerto Rico alcanzó un intervalo de 319 ppm a 438 ppm con media de 392 ppm, superior a la media del germoplasma de California (319 ppm) y el germoplasma de África Occidental (363 ppm). Por consiguiente, las hojas del germoplasma de Angola presentaron las mayores concentraciones de aluminio entre todos los germoplasmas.

Las hojas del germoplasma de Angola tuvieron el intervalo de 10 ppm a 13 ppm para el cobre con una media de 12 ppm. Este valor es inferior si comparamos con el germoplasma de California que tuvo la media de 15 ppm a 16 ppm con media de 15 ppm. El germoplasma de África Occidental tuvo un intervalo de 10 ppm a 23 ppm con media de 14 ppm, superior a la media del germoplasma de Angola e inferior al germoplasma de California. En caso del germoplasma de Puerto Rico, el intervalo fue de 10 ppm a 13 ppm con una media de 12 ppm, similar a la media del germoplasma de Angola y diferente de los resto del germoplasmas. La media de germoplasma de California (15 ppm) fue superior al resto de los germoplasmas.

Caupí constituye un alimento importante en dietas de muchas familias con bajos recursos en África y en algunas partes del mundo. En Angola muchas familias consumen el caupí en forma fresca las vainas, hojas y granos secos. Entonces esto es un hallazgo muy importante para los genotipos de Angola que los agricultores cultivan, e igualmente es importante conocer el potencial de germoplasma de otras regiones del mundo que pueden ser introducidos a Angola para su mejor aprovechamiento. Es importante entender cómo se ha seleccionado el germoplasma en Angola para establecer los objetivos de fitomejoramiento de caupí en el futuro. Igualmente es importante conocer el potencial del germoplasma de otras regiones del mundo que pueden ser introducidos en Angola para su mejor aprovechamiento.

Además los resultados tienen gran implicación en la agricultura angolana, ya que significa un paso dado para iniciar programas de mejoramiento de caupí con el objetivo de crear nuevos genotipos que se adapten a las condiciones agrícolas y combinar características de nutrición, agronómicas, y resistencia que permitan ofrecer mejores líneas a los agricultores y contribuir para aumentar la seguridad alimentaria en Angola.

Tablas 6. Concentración de los macroelementos y microelementos (ppm) en la hoja de germoplasma de caupí de Angola, California y África Occidental sembrada en Isabela, Puerto Rico en marzo de 2010 y diciembre 2010.

Genotipo	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
Angola													
030714-1	34	5.50	0.28	2.54	2.90	0.42	434	237	30	30	0.24	276	11
030714-4	28	4.47	0.32	2.82	2.75	0.37	416	267	25	36	0.47	335	12
124/1375-3	33	5.22	0.24	2.11	2.81	0.37	416	300	25	32	0.66	388	13
124/1454-4	34	5.36	0.23	2.21	2.89	0.41	444	398	23	30	0.30	356	11
124/1454-5	34	5.36	0.22	2.57	2.84	0.36	447	289	21	30	0.40	375	11
124/1731-1	34	5.48	0.31	2.51	2.88	0.37	601	252	28	28	0.24	481	11
124/1731-4	33	5.36	0.25	2.40	2.96	0.39	723	313	20	31	0.41	597	11
124/1764-2	33	5.35	0.21	2.59	2.58	0.34	545	230	25	34	0.14	500	12
124/2469-1	33	5.32	0.26	2.29	2.47	0.36	510	204	21	34	0.55	465	12
124/2783-1	32	5.14	0.21	2.02	3.07	0.44	366	287	20	28	0.19	299	13
124/2783-4	32	5.13	0.27	2.09	2.93	0.39	720	218	21	25	0.43	680	13
2870-1	32	5.16	0.23	2.37	2.27	0.36	329	257	20	29	0.15	240	10
2870-5	31	4.89	0.21	2.47	2.94	0.33	426	207	23	28	0.33	379	10
		4.47-	0.21-	2.02-	2.27-	0.33-	329-	204-			0.14-	240-	
Rango	28-34	5.50	0.32	2.82	3.07	0.44	723	398	20-30	25-36	0.66	680	10-13
Media	32.5	5.21	0.25	2.38	2.79	0.38	491	266	23	30	0.35	413	12

P.T=Proteína

Tabla 6. Continuación

Genotipo	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
California													
524B	34	5.47	0.30	2.69	2.18	0.40	406	217	22	30	0.21	339	15
CB 27	35	5.64	0.25	2.53	2.33	0.50	406	215	25	33	0.05	340	15
CB 46	36	5.77	0.30	2.42	2.04	0.46	352	195	23	25	0.10	277	16
		5.47-	0.25-	2.42-	2.04-	0.40-		195-			0.05-	277-	
Rango	34-36	5.77	0.30	2.69	2.33	0.50	352-406	217	22-25	25-33	0.21	340	15-16
Media	35	5.63	0.28	2.55	2.18	0.45	388	209	23	29	0.12	319	15
África Occidental													
Apagbaala	38	6.12	0.26	2.44	2.10	0.39	392	181	20	31	0.19	309	13
Bambey 21	36	5.82	0.24	2.31	2.10	0.50	301	220	23	35	0.21	218	12
Ife Brown	36	5.79	0.27	3.02	2.27	0.40	505	266	21	36	0.33	439	13
IT82E-18	37	5.84	0.28	2.47	2.18	0.43	520	248	35	43	0.44	472	14
IT84S-2049	38	6.12	0.29	2.78	2.34	0.58	393	345	21	39	0.14	308	17
IT90K-284-2	33	5.24	0.26	2.20	2.89	0.43	485	260	32	36	0.17	412	12
IT95K-1491	34	5.38	0.21	2.72	2.63	0.45	524	235	20	29	0.21	432	10
IT97-499-39	35	5.55	0.28	3.31	2.60	0.42	358	182	25	31	0.14	293	16
Melakh	36	5.78	0.28	2.39	2.40	0.44	408	239	25	35	0.15	326	14
Mouride	37	5.99	0.26	2.70	2.32	0.47	459	267	25	30	0.20	372	17
Yacine	36	5.74	0.29	2.83	1.77	0.44	370	184	24	25	0.30	296	12
58-57	39	6.29	0.25	2.71	1.97	0.43	381	248	24	39	0.22	408	23
IT98K-555-1	31	5.01	0.23	2.60	2.71	0.39	417	251	18	32	0.10	378	10

Tabla 6. Continuación

Genotipo	% PT	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Fe	Mn	Zn	B	Mo	Al	Cu
<u>África occidental</u>													
KVx403-P-20-T	36	5.69	0.22	2.57	2.55	0.40	515	243	20	31	0.18	485	16
KVX525	37	5.88	0.19	2.22	2.29	0.43	374	267	20	30	0.19	320	13
SuVita 2	36	5.84	0.24	2.40	2.19	0.46	337	183	28	25	0.18	284	18
UCR288(TVx1948)	32	5.15	0.21	2.19	2.29	0.39	469	213	22	35	0.26	435	12
Tvu 7778	29	5.55	0.23	2.42	2.56	0.44	369	187	25	33	0.21	349	16
Rango	29-39	5.01-6.29	0.19-0.29	2.19-3.31	1.77-2.89	0.39-0.58	301-524	181-345	18-35	25-43	0.10-0.44	218-485	10-23
Media	35	5.71	0.25	2.57	2.34	0.44	421	234	24	33	0.21	363	14
<u>Puerto Rico</u>													
Gorda	33	5.35	0.29	2.35	2.23	0.52	498	336	27	27	0.16	416	13
PI 44 1719	34	5.43	0.27	2.53	2.73	0.42	415	295	24	36	0.18	319	11
Red River	33	5.26	0.22	2.94	1.97	0.44	416	230	25	45	0.40	394	12
Iron Clay C.	33	5.24	0.22	2.36	2.47	0.37	449	191	19	34	0.16	438	10
Rango	33-34	5.24-5.43	0.22-0.29	2.35-2.94	1.97-2.73	0.37-0.52	415-498	191-336	19-27	27-45	0.16-0.40	319-438	10-13
Media	33	5.32	0.25	2.55	2.35	0.44	445	263	24	36	0.23	392	12
Rango general	28-39	4.47-6.29	0.19-0.32	2.02-3.31	1.77-3.07	0.33-0.58	301-723	181-398	18-35	25-45	0.05-0.66	218	680
Media general	34	5.49	0.25	2.50	2.48	0.42	445	246	24	32	0.25	380	13
DMS(0.05) general	NS	NS	NS	0.3	0.5	0.06	225.1	NS	NS	5.7	NS	233.4	3.1
CV(%)	12.4	11.8	19.7	8.6	12.1	10.1	31.1	25.7	21.9	10.8	0.31	37.8	14.6

Conclusiones

- Se encontró diversidad fenotípica entre las líneas de germoplasma para rendimiento de semilla y características de valor agronómico, nutricional y económico.
- Hubo diferencias de los caracteres agronómicos en las siembras de marzo y diciembre de 2010.
- Se identificó el germoplasma de Angola que mostró alto potencial de rendimiento y otros que contienen mayores niveles de hierro y cinc en la semilla.
- La composición elemental del por ciento de proteína de la hoja fue muy superior a la composición del por ciento de proteína en la semilla.
- Los germoplasma de África Occidental y Angola mostraron mayor diversidad fenotípica en comparación el germoplasma de California y de Puerto Rico.
- Los genotipos con combinación de características útil como vigor de la planta, madurez y rendimiento fueron seleccionados los siguientes: 124/1375-3, 124/1731-4, 124/1764-2, 124/2469-1, 124/2783-1, 124/2783-4 y 2870-5 (germoplasma de Angola); 524B, CB 27 y CB 46 (Germoplasma de California); Apagbaala, Bambey 21, Ife Brown, IT 82E-18, IT 90K-284-2, IT84S-2049, 58-57 y Tvu 7778 (germoplasma de África Occidental); PI 44 1917, Iron Clay y Red River (germoplasma de Puerto Rico).

Recomendaciones

- Seguir evaluando el mismo germoplasma en Angola para tener una idea clara de su comportamiento y su potencial como progenitores para el programa de fitomejoramiento en Angola.
- Estudiar la herencia del contenido de proteína y microelementos en la semilla y hojas de caupí.
- Aumenta la diversidad fenotípica y genotípica del germoplasma de Puerto Rico, a través de cruzamiento con germoplasma de otras regiones del mundo.

Referencias.

- Baudoin, J.P., Maréchal, R. 1985. Genetic diversity in Vigna. In: Singh S.R., Rachie K.O. (eds) Cowpea research, production, and utilization. Wiley, New York, pp 3-11.
- Barret, R.P.1990. Legume species as leaf vegetables. Pages 391-396 in Advances in new crops edited by J. Janick and J.E Simon, Timber Press, Portland, OR, USA.
- Becerra, V. and Gepts, P. 1994. RFLP diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in its centres of origin. Genome 37: 253-263.
- Becerra, V., Paredes, M.C. 2000. Agricultura Técnica , ISSN 0365-2807, Vol.60,Nº.3, 200, pages 270-281.
- Berry, R.E. 1981. Tropical fruits and vegetables as potential protein sources . Food Technology 35(11): 45-49.
- Bittenbender, H.C., R.P, Barret, and B.M Indire-Lavusa. 1984. Beans and cowpea as leaf vegetable and grain legumes, occasional monograph series , No. I, Bean/Cowpea CRSP, Michigan State University, East Lansing, MI, USA.34pp.
- Bioversity International. 2007. Descritores para feijão frade ou caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.); J. Pedro e A. Alves, tradutores; E. Bettencourt, editor. Bioversity International, Roma, Itália.
- Brazzino, A. L. 2002. Daily Trust of Tuesday, 4th December, 2(85):127
- Browning , J.A. 1988. “Current thinking on the use of diversity to buffer small grain against highly epidemic and variable foliar pathogens : Problems and future prospects.”pp.76-90 In. CIMMYT, Breeding strategies for resistance to the rust of wheat. CIMMYT.Mexico. D.F

- Cavalcante, E. da S.; Atroch, A.L. Cultivares de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) recomendadas para o Amapá. Amapá, EMBRAPA-CPAF, 1995. 3p.
- Clay, J. 1991. Cultural survival and conservation: Lesson from the past twenty years in: Common Wealth of Australia (1993): Biodiversity series paper No.1 Dept. of Environment, Sports Territories, Canberra.
- Craufurd, P.Q., Q. Aiming, R.J. Summerfield, R.H. Ellis, & E.H. Roberts, 1996. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). III. Effects of temperature and photoperiod on time to flowering in photoperiod-sensitive genotypes and screening for photothermal responses. *Expl Agric* 32: 29–40.
- Cromwell, E., Cooper, D., Mulvany. 1999. Agricultural Biodiversity and Livelihood: issues and entry points: Paper for DFID linking policy and practice in biodiversity project (LPPB), ODI, FAO, ITDG
- CGIAR. 2005. Research and Impact: Area of research: Cowpea. Consultado el 18 de Septiembre de 2010 <http://www.cgiar.org/impact/research/cowpea.html>
- Diniz, A. C . 2006. Características Mesológicas de Angola. Lisboa, IPAD, p.55-361.
- Diniz, C. Angola o meio físico e potencialidades agronômicas. Lisboa, Instituto Para a Cooperação Econômica, 1991. p.102-110.
- Diniz, A. C . 1973. Caracterização Mesológica de Angola. Nova Lisboa/Angola, MIAA., p. 155-158.
- Ehlers, J.D. and Hall, A.E., 1996. Genotypic of Cowpea Based on Responses to Heat and Photoperiod . Publish in *Crop*. 36: 673-679
- Ellis, R.H.; Lawn, R. J.; Summerfield, R.J.; Qi, A.; Roberts, E.H.; Chay, Doebley, J. and Wendel, J.D. 1989. Application of RFLPs to plant systematics. In : Helentjarus, T.; Barr, B.

- (Eds.) Development and application of molecular markers to problems in plant genetics. New York, U.S.A. Cold Spring Harbor Laboratories. p.57-67.
- Ellis, R.H.; Lawn, R. J., Summerf, R.J., QI, A., Roberts, E.H., Chay,P.M., Brouwer, J.B.,Rose, J.L., Yeates, S.J. 1994.Towards the Reliable Prediction of Time to Flowering in Six annual Crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). Experimental Agriculture. 30:17-29.
- FAO. 1996. Report of the International Technical Conference on Plant Genetic Resources. Leipzig Germany.
- Fall, L.; Diouf, D., Fall-Ndiaye, M.A. Badiane, F.A., Gueye, M.2003.Genetic diversity in cowpea, [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties determined by ARA and RAPD Techniques. African Journal of Biotechnology. 2(2):48-50,.
- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q., Rocha, M. M.; Lopes, A. C. A.2001. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos de genótipos de caupí de porte semi-ereto. Revista Científica Rural, Bagé, 6(2)::31-39,
- Foss Tecator. 2002.The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation, Application Note, Höganäs, Sweden.
- Gayler, K.R. and Sykes, G.E. 1985. Effect of nutritional stress on the storage proteins of soybeans. Plant Physiol. 78 :582-585.
- Gepts, P. 1990. Genetic diversity of seed storage proteins in plants. In : Brown, H.D.; Clegg, M.T.; Kahler, A.L. and Weir, B.S. (eds.) Plant population genetics, breeding and genetic resources. Sunderland, Massachusetts, U.S.A. p:64-82
- Gepts, P. and Bliss, F.A. 1986. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris*) from Colombia. Econ. Bot. 40:469-478

- Gierbolini, E. R. 1975. Soil survey of Mayagüez area of Western Puerto Rico. United States Department of Agriculture – Soil Conservation Services, Washington D. C. 20250
- Gustavo R. X., Lindete, M. V. M., Norma. G, R y Francisco. R. F. F.2005. Variabilidade genética em acessos de caupia analisada por meio de marcadores RAPD. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 40:353-359.
- Guazzelli, R.J. 1988.Histórico das pesquisas com caupi no Brasil. In: ARAÚJO, J.P.P. de; WATT, E.E. O caupi no Brasil. Brasília, IITA/EMBRAPA-DPU, p. 49-58.
- Hall, A.E., Cisse, N.,Thiaw, S., Elawad, O.A., Ehlers, J.D.,Ismail, A.M., Fery, R. L., Roberts, P. A., Kitch, L. W., Murdock, L. L., Boukar, O., Phillips, R. D., McWatter, K. H. 2003 Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. *Field Crops Research* 82: 103–134.
- IBSNAT. Field and laboratory methods for IBSNAT. 1987. Technical Report. Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 37-38.
- Imbamba, S.K.1973. Leaf protein content of some Kenya vegetables. *East African Agricultural and Forestry Journal* 38: 246-251.
- Ischiyaku, M.F., Singh, B.B., Craufurd, P.Q. 2005. Inheritance of time to flowering in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Springer. Euphytica*, 142:291-300.
- Junta de Planificación, 2006. Plan de uso de terrenos de Puerto Rico, perfil regional – Región Oeste.
<http://jpops02.jp.gobierno.pr/pls/portal/docs/PAGE/PAGINASINICIO/PUTPR/DOCANEJ/REGI%D3N%20OESTE%20FINAL.PDF>

- Koenig, R. and Gepts, P. 1989. Allozyme diversity in wild *Phaseolus vulgaris* : further evidence for two major centers of genetic diversity. *Theor. Appl. Genet.* 78 :809-817.
- Leonard, A., Damerval, C. and De Vienne., D. 1988. Organ-specific variability and inheritance of maize proteins revealed by two dimensional electrophoresis. *Genet. Res.* 52 :97-103.
- Linnemann, A.R., and P.Q. Craufurd. 1994. Effects of temperature and photoperiod on phenological development of three genotypes of bambara groundnut. *Annals of Botany* 74: 675-681.
- Luzolo, M., Mendes, L., Sousa, A.B., Correia, A.M. 2006. Novos dados sobre os Papilionídeos. (Lepidóptera) de Angola. *Faunística e Ecologia*. In: Moreira, I. Angola Agricultura, Recursos Naturais e Desenvolvimento Rural. Luanda, Comitê Nacional de Recursos Fitogenéticos, Isapress, p.289-299.
- Mahalakshmi, V., Ng, Q., Lawson, M., and Ortiz, V. 2007. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L) Walp.] core collection defined by geographical, agronomical and botanical descriptors. *Plant Genetic Resources: Characterization and utilization* 5(3);113-119.
- Matos, E.M. 2002. O papel do Comité Nacional e do Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos na conservação das plantas ameaçadas em Angola. *Comunicação*, Luanda.
- Marker-assisted Breeding. Consultado el 14 de Noviembre de 2010, *Generación Challenge Programme*. <http://www.generationcp.org/mab/index.php?id=038>
- Meachman, D.K., Kasarda, D.D. and Qualset, C.O. 1978. Genetic aspects of wheat gliadin proteins. *Biochem. Genet.* 16:813-853.
- Mills, H.A and Benton, J.J.Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. ISBN1-878148-052. Georgia, USA, p-369

- Mitidieri, J. 1983. Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicales. Brasil, Universidad de São Paulo, 198 p.
- Muchero, W., Diop. N.N., Bhat P.R., Fenton. R. D., Wanamaker S., Pottorff. M ., Hearne, S., Cisse, N., Fatokun, C., Ehlers.J.D., Roberts. P. A., and Close, T. J. 2009. Consensus genetic map of cowpea [*Vigna unguiculata* (L) Walp.] and synteny based on EST-derived SNPs. PNAS, vol. 106(43): 18163.
- Ng, N.Q. 1995. Cowpea *Vigna unguiculata* (Leguminosea-Papilionoidae). In: Smartt J, Simmonds N (eds) Evolution of crop plants. Longman, London, pp. 326-332.
- Nielsen, S.S., Brandt, W.E., Singh, B.B., 1993. Genetic variability for nutritional composition and cooking time of improved cowpea lines. Crop Sci. 33:469–472.
- Panella, L. and Gepts, P. 1992. Genetic relationships within *Vigna unguiculata* (L.) Walp. based on isozyme analyses. Genetic Resources Crop Evol. 39:71–88
- Paredes, M. and Gepts, P. 1995. Extensive introgression of Middle American germplasm into Chilean common bean. Gen. Res. and Crop Evo. 42:29-41.
- Padulosi, S., Ng, N. 1997. Origen, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: Sing B, Mohan Raj D, Dashiell K, Jackai L (eds) Advances in cowpea research. International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Ibadan, Nigeria, pp 1-12.
- Pasquet, R.S. 1993. Classification infraspécifique des formes spontanées de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae) à partir de données morphologiques. Bull. Jardin Botanique National Belgique 62:127–173

- Pasquet, R.S.1996. Cultivated cowpea *Vigna unguiculata*: genetic organization and domestication. In: Pickersgill B, Lock J (eds) Advances in legumes. Systematics vol. 8: legumes of economic importance. Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 101-108.
- Pasquet, R.S. 1999. Genetic relationships among subspecies of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Based on allozyme variation. Theor. Appl. Genet. 98:1104-1119.
- Pasquet, R.S. 2000. Genetic diversity of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Based on allozyme variation. Theor. Appl. Genet. 101:211-219.
- Pedro, J.2007.Uso, manejo e caracterização de variedades locais de feijão macunde(*Vigna Unguiculata* (L.) WALP.),Universidad Federal de Santa Catarina, Departamento de Fitotecnia p. 43.
- Perkin-Elmer. 1994. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, Connecticut, USA., 300 pp.
- Rachie, K.O. 1985. Introduction. In Cowpea, Research, Production and Utilization. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp.21-26.
- Rivas, V. M. E., Gopyatúa, B. E., Ezquerro, B. J. M., Salazar, G. M. G., Suárez, C. L. E., Nolasco, H., Civera, C. R. 2005. Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific whitr shrimp (*Litopenaeus vannmei* Boone). Food Chemistry 97 (2005) 41–49 doi:10.1016/j.foodchem.2005.03.021
- Steele, W.M. 1976. Cowpea *Vigna unguiculata*, pp.183-185.In: Simmonds, N.W. (ed) Evolution of Crops Plants. London, UK, Longmans.
- Singh,R.K., and B.D.Raj, K.E. Dashiell and L.E.N.Jackai.1997.Advances in Cowpea Research, IITA, Ibadan, Nigeria and Japan International Center for Agricultural Science.(JIRCAS). Tsukuba Ibaraki, Japan. pp240-247.

- Vaillancourt ,R., Weeden ,N.F., Barnard, J.1993. Isozyme diversity in the cowpea species complex. *Crop Sci.* 33:606-613.
- Vaillancourt, R.E.,Weeden,N.F.1992. Chloroplast DNA polymorphism suggests a Nigerian center of domestication for the cowpea, *Vigna unguiculata*, Leguminosae. *Am J Bot* 79: 1194-1199.
- Vavilov N.I. 1926. Studies on the origin of cultivated plants. *Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed.* 16: 1-245.
- Wang, Z.Y., Second, G. and Tanksley, S.D. 1992. Polymorphism and phylogenetic relationships among species in the genus *Oryza* as determined by analysis of nuclear RFLPs. *Theor. Appl. Genet.* 83 :565-581
- Westphal, E. 1974. Pulses in Ethiopia, their taxonomy and agricultural significance. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.
- Wien, H.C., and R.J. Summerfield. 1980. Adaption of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] to heat stress. II. Responses to night air temperature. *Field Crops Research* 8: 17-33.
- Wilson, C.M. 1985. Mapping of zein polypeptides after isoelectric focusing on agarose gels. *Biochem. Genet.* 23 :115-124.
- Williams, K.G.; Kubelik, A.R.; Livak, K.J.; Rafalsky, J.A. and Tingey, S.V. 1990. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acid Res.* 18:6531-6533
- Xavier, R, G., Martins, L. V. M., Rumjanek, N. G., Freire Filho, F. R. 2005. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.4, p.353-359.