

**Establecimiento de los protocolos de poscosecha para la obtención de una  
harina de *Curcuma longa* con estándares de calidad internacional**

**Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Innovación Alimentaria y  
Nutrición**

**Sandra Milena Llano Gil**

**MSc. Álvaro Arango Ruíz**

**Asesor**

**Corporación Universitaria Lasallista**

**Facultad de Ingeniería**

**Caldas – Antioquia**

**2016**

## Contenido

Resumen.....	10
Introducción.....	13
Justificación .....	16
Objetivos .....	19
<i>Objetivo General</i> .....	19
<i>Objetivos Específicos</i> .....	19
Marco teórico .....	20
Colorantes Naturales .....	20
Curcuma longa.....	22
Propiedades de la <i>Curcuma longa</i> .....	24
Compuestos fitoquímicos de la <i>Curcuma longa</i> .....	26
Curcuminoides metabolitos secundarios de mayor interés en la cúrcuma.....	28
Estabilidad de los curcuminoides .....	30
Respuesta de los cultivos de Curcuma longa a condiciones agroecológicas .....	32
Efecto poscosecha sobre la calidad de la <i>Curcuma longa</i> .....	34
Material de empaque .....	35
Polietileno como material de empaque.....	37
Polietilenos de baja densidad (LDPE - Low Density Polyethilenes) .....	38
Vidrio .....	38
Bolsa metalizada .....	39
Proceso de secado poscosecha.....	40
Secado en Lechofluidizado .....	42
Secado solar .....	43
Secado en Horno .....	44
Proceso de desinfección.....	46
Metodología .....	48
Evaluación mediante parámetros de calidad de diferentes materiales de <i>Curcuma longa</i> cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño. ....	48
Materiales y métodos.....	49

Parcelas experimentales .....	49
Caracterización de los suelos de las parcelas experimentales .....	49
Elaboración de cultivos experimentales .....	51
Material Vegetal .....	52
Preparación de muestras, obtención de harina.....	53
Preparación de muestras – extracción.....	53
Identificación y cuantificación de curcuminoides por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) .....	54
Determinación de la actividad antioxidante – determinación del valor ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) .....	55
Determinación del tiempo óptimo de cosecha de la <i>Curcuma longa</i> a través del seguimiento de los parámetros fisicoquímicos.....	56
Muestreo de material vegetal .....	57
Determinación de las condiciones que permiten mantener las características fisicoquímicas y microbiológicas óptimas en cada una de las etapas de poscosecha para cumplir con parámetros de calidad internacional.....	58
Efecto del proceso de desinfección sobre los rizomas de <i>Curcuma longa</i> .....	58
Efecto del proceso de secado sobre los rizomas de <i>Curcuma longa</i> .....	60
Efecto de la radiación UV sobre la harina de Curcuma usando distintos materiales de empaque.....	60
Análisis de Color.....	61
Análisis estadístico .....	62
Resultados .....	63
Evaluación mediante parámetros de calidad de diferentes materiales de <i>Curcuma longa</i> cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño. ....	63
Validación método analítico.....	63
Evaluación materiales de <i>Curcuma longa</i> .....	67
Determinación del tiempo óptimo de cosecha de la <i>Curcuma longa</i> a través de un seguimiento de los parámetros fisicoquímicos.....	80

Determinación de las condiciones que permiten mantener las características físicoquímicas y microbiológicas óptimas en cada una de las etapas de poscosecha para cumplir con parámetros de calidad internacional. ....	91
Efecto del proceso de desinfección sobre los rizomas de <i>Curcuma longa</i> .....	92
Efecto del proceso de secado sobre los rizomas de <i>Curcuma longa</i> .....	98
Efecto de la radiación UV sobre la harina de cúrcuma usando distintos materiales de empaque .....	102
Protocolos poscosecha para la obtención de harina de <i>Curcuma longa</i> . ....	105
Conclusiones .....	106
Referencias .....	110

## Listado de tablas

<b>Tabla 1.</b> Análisis de suelos previo a la siembra de las parcelas en las que se realizaron los estudios experimentales durante el período 2015 -2016.	47
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de validación del método analítico para la cuantificación de curcuminoides.	65
<b>Tabla 3.</b> Contenido de curcuminoides en rizomas de <i>Cúrcuma longa</i> usados como semilla	66
<b>Tabla 4.</b> Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) de 4 materiales de curcuma cultivados en tres localidades.	70
<b>Tabla 5.</b> Interacción entre los factores localidad y material de siembra (analizando rendimiento de producción de rizomas)	72
<b>Tabla 6.</b> Rendimiento (Kg de rizoma) de 4 materiales de cúrcuma cultivados en tres localidades.	73
<b>Tabla 7.</b> Tabla de análisis de componentes principales y de los pesos de los componentes.	76
<b>Tabla 8.</b> Incremento de contenido de curcuminoides desde el día 202 al día 310 expresado en porcentaje.	84
<b>Tabla 9.</b> Resultados ANOVA para parámetros CIELab de color luego de aplicar soluciones desinfectantes	91
<b>Tabla 10.</b> Análisis microbiológico de muestras de rizomas de cúrcuma tratados con diferentes desinfectantes.	93
<b>Tabla 11.</b> Resultados ANOVA de parámetros CIElab de color para harina de cúrcuma obtenida aplicando distintos secados a los rizomas (secado en lecho fluidizado, en horno y solar).	96
<b>Tabla 12.</b> Resultados ANOVA de parámetros CIElab de color para harina de cúrcuma expuesta a radiación UV usando distintos materiales de empaque.	100

## Listado de figuras

**Figura 1.** Datos de comercialización de Cúrcuma en Colombia desde el año 1990 hasta mediados de 2013. a) Valor y volumen (Ton) de las importaciones de cúrcuma. b) Valor y volumen (Ton) de las exportaciones de cúrcuma.  
16

**Figura 2.** *Cúrcuma longa* cultivada en Colombia (Uramita – Antioquia)  
21

**Figura 3.** Estructura de los curcuminoides presentes en la *Cúrcuma longa* 27

**Figura 4.** Ruta biosintética de los curcuminoides en la curcuma. Propuesta de mayor probabilidad (flechas gruesas) y de menor probabilidad (flechas delgadas y punteadas) (1), Fenilalanina; (2), ácido cinámico; (3), ácido p-coumárico; (4), ácido ferúlico; (5), ácido malocino; (6), esqueleto intermedio de los curcuminoides; (7), bisdesmetoxicurcumina; (8), desmetoxicurcumina; (9), curcumina. Tomado de Tomoko Kita y col.(Kita, Imai, Sawada, Kumagai, & Seto, 2008).  
28

**Figura 5.** Productos de degradación de la curcumina. 29

**Figura 6.** Rizomas de *Cúrcuma longa*. a) Proveniente de Putumayo. b) Proveniente de India. c) Proveniente de Uramita. 51

**Figura 7.** Separación cromatográfica de bisdesmetoxicurcumina, desmetoxicurcumina y curcumina en a) un mezcla de estándares de curcuminoides y b) extracto etanólico del material vegetal.  
62

**Figura 8.** Curva de calibración y linealidad de a) curcumina, b) desmetoxicurcumina y c) bisdesmetoxicurcumina.

64

**Figura 9.** Rizomas materiales de propagación. a) Local; b) Putumayo; c) India. 67

**Figura 10.** Concentración de curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina (%p/p) de tres materiales de cúrcuma longa cultivados en tres localidades. 68

**Figura 11.** Parámetros de calidad evaluados en etapa de cosecha en tres materiales de cúrcuma longa cultivados en tres localidades. a) Capacidad antioxidante (ORAC); b) % p/p curcuminoides totales; c) rendimiento de producción Kg rizomas.

70

**Figura 12.** Análisis de componentes principales para el cultivo de *Cúrcuma longa* en tres diferentes localidades.

77

**Figura 13.** Etapas de crecimiento de rizomas de *cúrcuma longa* cultivados en parcelas del occidente antioqueño. a) Iniciación de la formación de rizomas nuevos (hijos) acompañado de un rizoma usado como material de propagación. b) rizomas obtenidos en el monitoreo del día 122. C) rizomas obtenidos en el monitoreo del día 159. d) rizoma correspondientes al monitoreo del día 242. e) rizomas en la etapa de cosecha.

80

**Figura 14.** Variación del contenido de contenido de curcuminoides en los rizomas de cúrcuma respecto a la etapa de cultivo. a) % p/p curcumina - Uramita. b) % p/p desmetoxicurcumina –Uramita. c) % p/p bisdesmetoxicurcumina - Uramita. d) % p/p curcumina – Cañasgordas. e) % p/p desmetoxicurcumina – Cañasgordas. f) % p/p

bisdesmetoxicurcumina– Cañasgordas. g) % p/p curcumina – Sopetrán. h) % p/p desmetoxicurcumina - Sopetrán. i) % p/p bisdesmetoxicurcumina – Sopetrán.

82

**Figura 15.** Variación de curcuminoides totales en rizoma de distintos material y cultivado en distintas localidades durante varias etapas del cultivo. a) Uramita. b) Cañasgordas. c) Sopetrán.

83

**Figura 16.** Variación de curcuminoides totales en rizomas de propagación de distintos materiales durante varias etapas del cultivo en las localidades. a) Uramita. b) Cañasgordas. c) Sopetrán.

86

**Figura 17.** Etapas poscosecha desde la cosecha hasta la obtención de harina de cúrcuma.

88

**Figura 18.** Efecto de soluciones desinfectantes sobre los rizomas de cúrcuma longa. a) variación del contenido de curcuminoides. b) variación del contenido de curcuminoides totales. c) capacidad antioxidante (ORAC).

90

**Figura 19.** Efecto del método de secado sobre parámetros de calidad de los rizomas de cúrcuma longa. a) variación del contenido de curcuminoides. b) Variación de la capacidad antioxidante.

94

**Figura 20.** Productos de degradación de la curcumina en isopropanol (Tønnesen, Karlsen, & van Henegouwen, 1986).

97

**Figura 21.** Efecto de la radiación UV en el contenido de curcuminoides usando distintos materiales de empaque de harina de cúrcuma. a) variación del contenido de

curcuminoides totales respecto al tiempo. b) variación de la capacidad antioxidante de la harina respecto al tiempo.

## Resumen

El uso de colorantes naturales se ha incrementado en la actualidad por su capacidad de pigmentación, por sus propiedades nutraceuticas y también por cuestiones reglamentarias. La *Curcuma longa*, planta zingiberácea, es usada en las industrias de alimentos, farmacéutica y cosmética debido a sus propiedades colorantes, antiinflamatorias, antioxidantes y anticancerígenas.

Colombia importa 70 Ton/año de harina de Cúrcuma y exporta 12 Ton/año. Es decir no sufre el consumo interno. La producción nacional debería suplir al menos las 70 Ton/año de harina de Curcuma que se importan, con lo que se podría incrementar la tasa de exportación.

Los usos de la harina de *Curcuma longa* están asociados al contenido de curcuminoides (bisdemetoxicurcumina, desmetoxicurcumina y curcumina), sustancias que le otorgan la coloración amarilla característica a los rizomas de la planta. El contenido de metabolitos secundarios, como los curcuminoides, en las plantas puede variar con las condiciones agroecológicas del cultivo y con el tipo de material vegetal usado en el proceso de siembra. Adicionalmente los procesos poscosecha a los que se deben someter los rizomas de *Curcuma longa* para obtener harina pueden afectar en gran medida la calidad de la harina de *Curcuma longa*.

Por lo anterior surge la necesidad de evaluar materiales de siembra de *Curcuma longa* en distintas localidades. Igualmente, ofrecer alternativas de manejo poscosecha para asegurar la obtención de un producto de alta calidad.

Para ello se realizó la siembra de parcelas demostrativas de *Curcuma longa* en los municipios de Cañasgordas, Sopetrán y Uramita, usando tres materiales de siembra

(Local, Putumayo e India). Muestras de los cultivos fueron analizadas durante 10 meses. Se evaluó el contenido de curcuminoides (curcumina, desmetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina), la capacidad antioxidante y el color de rizomas de *Curcuma longa* durante el cultivo y la poscosecha. Los procesos poscosecha evaluados fueron desinfección, secado y empaque. La cuantificación de curcuminoides en todas las etapas evaluadas se llevó a cabo con un método analítico validado.

La localidad afectó el contenido de curcuminoides. La parcela cultivada en Cañasgordas presentó los rendimientos globales más altos donde el material de la India produjo el 63% de la cantidad total de rizomas recolectados. El tiempo de cosecha influyó en el contenido de curcuminoides, se encontró que el contenido de curcuminoides tuvo un incremento de alrededor del 50% del día 202 al 310.

El tipo de proceso poscosecha usado afecta parámetros fisicoquímicos de los rizomas. El secado solar disminuye el contenido de curcuminoides en un 36.5% y la capacidad antioxidante en un 15%. El secado solar y de lecho fluidizado no afecta la calidad de los rizomas de *Curcuma longa*. Los 4 desinfectantes evaluados no afectaron el contenido de curcuminoides ni la capacidad antioxidante y fueron eficaces en el proceso de desinfección. El parámetro de color  $a^*$  se vio afectado con el proceso de desinfección. El material de empaque evaluado en el ensayo con radiación UV mostró que la bolsa metalizada evitó la degradación de los curcuminoides (un 14% respecto al control).

El rendimiento del cultivo se vio influenciado por la zona de cultivo, este hecho se debe a las condiciones del suelo donde se desarrolla el cultivo. La materia orgánica fue el parámetro que más influyó por lo que en los procesos de fertilización es un

parámetro de vital importancia, para la localidad con mayor rendimiento se registró un valor de 6 MO este debe ser tomado como referencia para los acondicionamientos de los suelos. El tiempo óptimo de cosecha para los rizomas de Curcuma de acuerdo al estudio es entre los 290 y 310 días de cultivo, en este tiempo hay maduración y acumulación de curcuminoides. Los desinfectantes comerciales son adecuados para garantizar la inocuidad de los rizomas y no tienen un efecto en los curcuminoides y la capacidad antioxidante.

El secado solar no es recomendado como proceso para la obtención de harina de Cúrcuma por la disminución de curcuminoides que se genera en los rizomas. Esto debido a un proceso de fotodegradación, lo que disminuye la calidad de la harina de Cúrcuma. Adicionalmente se recomienda que el material de empaque de la harina de Cúrcuma sea metalizado o aislante de luz ya que los curcuminoides se degradan por la exposición a la radiación UV- VIS.

## Introducción

La *Curcuma longa* es una planta herbácea, con hojas perennes que pertenece a la familia de las cingiberáceas. Los rizomas de Cúrcuma son empleados desde hace siglos como condimento, colorante y como medicina en el tratamiento de diversas enfermedades. El arbusto puede alcanzar hasta un metro de altura en su fase de desarrollo pleno. La reproducción la realiza a partir de yemas o dedos que surgen en el propio rizoma en el último año de crecimiento y que da lugar a una nueva planta renovada. Estos rizomas se desarrollan mejor en climas cálidos y húmedos. La temperatura media óptima está en el orden de 24 a 28°C, con mínimas alrededor de 18°C. La precipitación idónea es de 2,000 mm para los siete a diez meses de cultivo. La sequía reduce el desarrollo, con el resultado de rizomas pequeños. Produce mejor en suelos francos, fértiles y bien drenados con pH ligeramente ácido (5 a 6). Las arcillas pesadas y los suelos arenosos no son adecuados para la formación de rizomas grandes (Gopichand et al., 2006, 106).

Los rizomas de la *Curcuma longa* son comercializados para ser usados en cocina, como condimentos o como colorantes. En este último caso son procesados para obtener un extracto, gracias a la coloración amarilla que genera. El extracto Cúrcuma es utilizado de dos maneras; una de ellas como Cúrcuma (extracto crudo de color amarillo), ó como curcumina. Químicamente, la Cúrcuma contiene principalmente: turmerol, zingibereno, felandreno, ácido válerico, caprílico, caproíco, sesquiterpénlactonas (curlona, curcumeno, turmerona), curcuminoídes, sabineno, cíneol, borneol y resinas (Li et al., 2011, 30-41). De estos compuestos químicos los de mayor interés son los curcuminoídes ya que estos son los responsables de generar

tonalidades amarillas, por lo que se han vuelto de gran interés para la industria de colorantes y aditivos para alimentos convirtiendo a los curcuminoides en un parámetro importante en la determinación de la calidad de los rizomas de *Curcuma longa*.

El principal país productor de Cúrcuma es India, otros productores son Bangladesh, Pakistán, China, Taiwán, Sri Lanka e Indonesia. En Latinoamérica se cultiva en Perú, Costa Rica, Jamaica, Haití y Brasil, quienes han presentado un aumento de hectáreas cultivadas, debido a las oportunidades de negocio. Por su parte, Colombia no es un país significativamente productor. Sin embargo, a partir del año 2007 se ha visto un fenómeno muy interesante, posiblemente, en el cual algunas empresas utilizan el país como plataforma de exportación, sin que necesariamente se utilice producción nacional.

En Colombia, el aprovechamiento y la comercialización de los productos obtenidos de la biodiversidad son limitados debido a que los procesos de I+D y control de calidad son considerados un gasto y no una inversión a mediano y largo plazo. Adicionalmente, el grado de innovación y desarrollo tecnológico es un factor limitante para la comercialización de estos productos, debido a que se desconoce desde su origen, su composición química, su toxicidad, su efectividad.

De hecho, se conoce ampliamente que Colombia es un país biodiverso; sin embargo, esta gran ventaja comparativa con otros países no ha repercutido, como se esperaba, en su desarrollo económico, en gran medida debido a la falta de proyectos tendientes a la innovación basada en el aprovechamiento sostenible y rentable de la biodiversidad.

Debido al potencial mercado que tiene la *Curcuma longa* y a las condiciones

climáticas propicias para este cultivo que presenta la región del occidente antioqueño, analizar el comportamiento de un cultivo demostrativo de Cúrcuma en la zona permite obtener resultados que sean usados para desarrollar un cultivo sostenible y rentable.

## Justificación

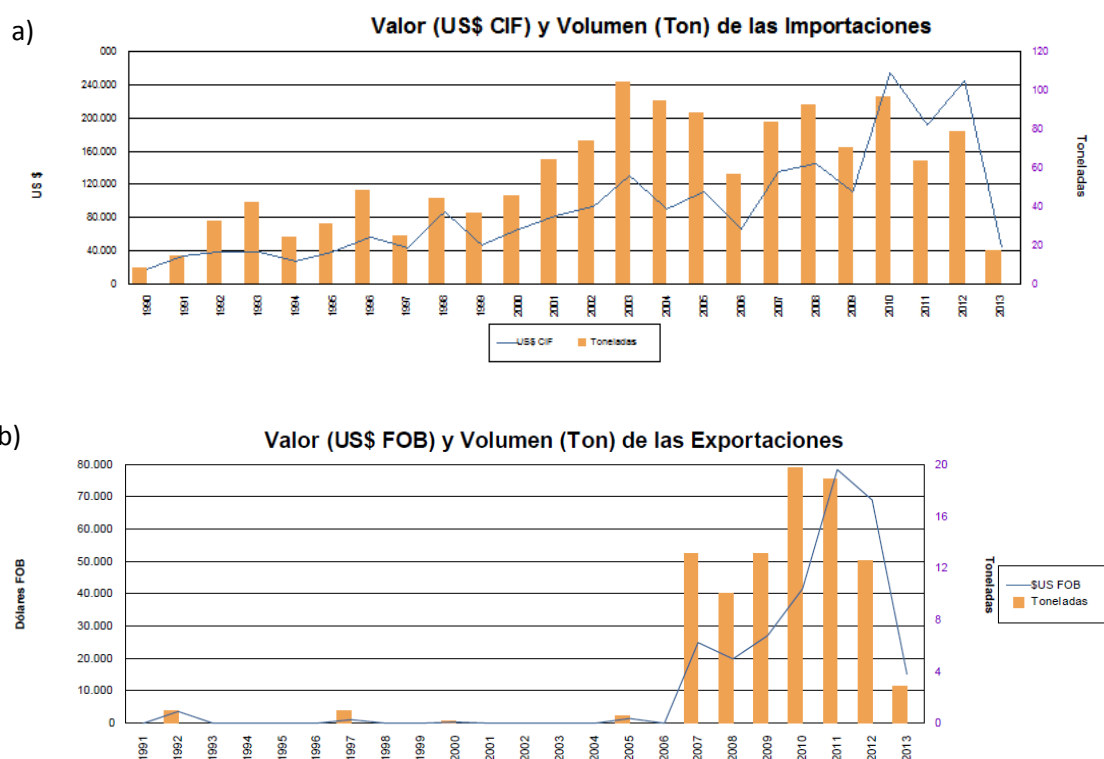
Los colorantes naturales han venido en auge durante los últimos años debido a los beneficios que estos presentan para la salud y el ambiente, a diferencia de los colorantes sintéticos desarrollados en el siglo XX, los cuales han comenzado a ser regulados, debido a que muchos de ellos son cancerígenos, mutanogénicos y alergénicos (Sarıkaya, R., Selvi, M. & Erkoc, F., 2012, 978) (Poul, M. et al, 2009, 447). Los colorantes naturales son conocidos desde la antigüedad y usados en la coloración de textiles, en alimentos y en cosméticos, se obtienen de diferentes recursos como plantas, animales/insectos y minerales.

Entre los colorantes naturales se encuentra la curcumina principal constituyente de los rizomas de la planta *Curcuma longa*. Ésta ha sido usada por largo tiempo como especia y colorante en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (Sharma, Gescher, & Steward, 2005, 1956); (Gómez-Estaca, Gavara, & Hernández-Muñoz, 2015, 302); (Menon & Sudheer, 2007, 106).

Debido al creciente uso de la curcumina se ha incrementado el uso de la harina de *Curcuma longa* para la obtención del extracto Cúrcuma, el cual es utilizado como colorante alimentario en dos formas: una de ellas como Cúrcuma (extracto crudo de color amarillo), bajo el código alimentario de la Unión europea E-100ii, o bien como curcumina (estado purificado o refinado), bajo el código alimentario de la Unión europea E-100 (Stankovic, 2004, 8); (Pintea, 2008, 322).

Esto ha generado un aumento en la comercialización y producción de harina de *Curcuma longa* en países como la India y Perú. Si se analiza la partida arancelaria 0910300000 del producto Cúrcuma, se puede apreciar que entre el año 2007 y 2012 se

han exportado desde Colombia alrededor de 12 Ton/año de Cúrcuma, principalmente con destino a República Dominicana con un precio implícito que puede alcanzar los 5.500 USD/Ton como se puede observar en la figura 1 b). Esto contrasta con las importaciones de la misma partida arancelaria en el mismo lapso de tiempo, en donde se aprecia que en promedio se importan alrededor de 70 Ton/año de Cúrcuma, principalmente desde Perú, sin embargo el precio implícito no supera los 3114 USD/Ton como se muestra en la figura 1 a).



**Figura 1.** Datos de comercialización de Cúrcuma en Colombia desde el año 1990 hasta mediados de 2013. a) Valor y volumen (Ton) de las importaciones de Cúrcuma. b) Valor y volumen (Ton) de las exportaciones de Cúrcuma.

Todo esto podría indicar que un porcentaje de la Cúrcuma que llega al país procedente de Perú se exporta a República Dominicana con una mayor ganancia, con

lo cual cabría esperar que la producción nacional debería suplir al menos las 70 Ton/año que se importan, de las cuales se podría incrementar la tasa de exportación, ampliando los mercados que se atienden y superando la cuota de 12 Ton/año que actualmente se venden a República Dominicana.

La Cúrcuma tiene diversos usos y aplicaciones por lo que debe cumplir con unos parámetros de calidad que generen seguridad en los consumidores. Dependiendo de la forma en que se comercialice la cúrcuma (rizomas secos o harina) se determinan los parámetros de calidad. Para los rizomas y la harina de cúrcuma se encuentran parámetros en común. Estos son el contenido de curcuminoides, humedad máxima, % ceniza y las características microbiológicas. Los requerimientos para estos parámetros son un contenido mínimo de curcuminoides del 2%, una humedad máxima del 11%, un porcentaje de cenizas máximo de 8%, debe registrar ausencia de *Salmonella*, el porcentaje de materia orgánica y materia inorgánica extraña permitida se encuentra entre 0,8 a 1,5% (m / m máx.) y 0.2 to 0.5 % (m/m max.) respectivamente. Se regula también el contenido de aflotoxina (Bureau of Indian Standards, 2010, 5) (Department of Agriculture and Cooperation, 2005).

Debido a este hecho surge la necesidad de evaluar materiales de siembra de cúrcuma en distintas localidades. Igualmente, ofrecer alternativas de manejo poscosecha para asegurar la obtención de un producto de alta calidad de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos de importancia para la harina de cúrcuma.

## Objetivos

### Objetivo General

Definir protocolos poscosecha para la obtención de una harina de *Curcuma longa* que cumpla con estándares de calidad internacional.

### Objetivos Específicos

- Evaluar mediante parámetros de calidad, diferentes materiales de *Curcuma longa* cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño.
- Determinar el tiempo óptimo de cosecha de la *Curcuma longa* mediante el seguimiento de los parámetros fisicoquímicos.
- Determinar las condiciones que permitan mantener (conserven) las características fisicoquímicas y microbiológicas óptimas en cada una de las etapas de poscosecha de la *Curcuma longa* cumpliendo con parámetros de calidad internacional.

## Marco teórico

### Colorantes Naturales

Un colorantes es una sustancia capaz de absorber determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético visible, por lo que puede impartir color a otro material al cual se adicione (propiedad de tinción). La FDA (*Food and Drugs Administration*), define como aditivo colorante cualquier pigmento o sustancia fabricada (sintéticos) u obtenida de vegetales, animales o minerales capaz de colorear alimentos, drogas y cosméticos (Sharma et al., 2005, 1956); (Gómez-Estaca et al., 2015, 307); (Menon & Sudheer, 2007, 106).

Los colorantes tienen aplicación en la industria textil, alimentaria, farmacéutica, cosmética entre otras. Su utilización se remonta a la antigüedad encontrando evidencias de su uso por el hombre del Cro-Magnon entre los años 10000 y 30000 A.C (Kerry G., G. & Cooke, D. T., 2001, 57).

Los colorantes naturales usados antes del siglo XX eran obtenidos de fuentes naturales debido a que aún no se había dado el desarrollo químico e industrial para obtener colorantes sintéticos. Con el desarrollo industrial y de la industria química se comienzan a sintetizar y a producir colorantes artificiales, los cuales reemplazaron el uso de los colorantes naturales debido a: generación de amplio rango de colores, su estabilidad química y el poder de tinción.

Los colorantes naturales son conocidos desde la antigüedad, no solo en el proceso de la coloración de textiles sino también en alimentos y cosméticos, se obtienen de fuentes biológicas como vegetales, animales/insectos o minerales. Los colorantes naturales son

renovables, tienen propiedades nutracéuticas y un impacto ambiental mínimo (Shahid, M., Islam, S. & Mohammad, F., 2013, 310-312)

Los colorantes naturales más usados en la actualidad son: curcumina con tonalidades amarillo - naranja obtenido de la planta *Curcuma longa*, Bixina (tonalidad naranja, obtenido del achiote), rojo remolacha (tonalidad roja, obtenido de la remolacha).

Un colorante natural en un sistema biológico se define como una sustancia sintetizada en la célula y puede ser acumulado o excretado por la célula. Las células donde se forman los colorantes naturales podrán ser de: animales, plantas, hongos o microorganismos. Los colorantes inorgánicos obtenidos de minerales en ocasiones no se consideran como colorantes naturales debido a que no juegan un papel biológico significativo. Esta clasificación puede generar vacíos ya que algunos de estos colorantes naturales en los procesos de extracción industrial se pueden ver levemente modificados cambiando la estructura inicial (Hendry, G. Houghton, J., 1996, 3).

Los colorantes naturales han sido usados desde hace cientos de años, sin embargo su uso se vio disminuido cuando William Henry Perkin de manera accidental logró obtener el colorante sintético (anilina) y con su posterior comercialización. Los colorantes naturales fueron relegados por los sintéticos (Perkin, 2001, 191).

El consumo de colorantes naturales se ha incrementado gracias a propiedades fisicoquímicas, entre ellas su baja toxicidad comparada con colorantes sintético, niveles de contaminación bajos y disminución de efectos secundarios en la salud humana. El consumo de los colorantes naturales se ha dado principalmente en la aplicación como aditivos en la industria de los alimentos (Siva, 2007, 917). Existen gran variedad de

colorantes naturales que abarcan desde el rojo hasta el violeta en el espectro UV –Vis. Los colorantes naturales obtenidos en Suramérica provienen principalmente de: Annato, *Curcuma longa*, Marigold, cochinilla y carmina (Bechtold, T, 2009, 53). De estas plantas se obtienen colorantes que generan coloración amarilla-naranja. Uno de los más comercializados es la curcumina, colorante extraído de la *Curcuma Longa*.

### **Curcuma longa**

La cúrcuma es una planta perenne herbácea, que alcanza una estatura de hasta 1 metro de altura. Con rizomas muy ramificados, de color amarillo a naranja, cilíndrica y olor aromático. Las hojas están dispuestas en dos filas. Se dividen en vaina de la hoja, pecíolo y lámina de la hoja, en la figura 2 se muestra una imagen de la planta. Fuente: Botanical, 2014.



**Figura 2.** *Curcuma longa* cultivada en Colombia (Uramita – Antioquia)

La planta se desarrolla en zonas cálido húmedas. Se encuentran cultivos desde Polinesia y Micronesia hasta el sudeste asiático. Necesita temperaturas de entre 20 y 30 °C y una considerable pluviosidad para crecer (Govindarajan & Stahl, 2009, 200).

La cúrcuma es cultivada extensivamente en India, Sri Lanka, partes de China, Pakistan, Bangladesh, Taiwan, Indonesia y Vietnam. Esta es cultivada en pequeña escala en algunos países del Caribe, centro y Suramérica. Se destacan Jamaica, Haití y Perú.

En el mercado internacional la Curcuma (seca) es etiquetada de acuerdo al lugar geográfico donde se produce. India es el mayor productor, exportador y consumidor de cúrcuma en el mundo, con un 82% de la producción y un 45 % de la exportación (P. N. Ravindran, K. Nirmal Babu, 2007, 479). Este país produce cerca de 716.900 toneladas de *Curcuma Longa*. En los años 2004-2005 había 161300 hectáreas de *Curcuma longa* cultivada. En India hay cerca de 70 variedades de *Curcuma longa*, algunas de las variedades más importantes son de acuerdo a su ubicación: Rajapuri, Duggirala, Cuddappah, Berhampur, Erode, Nizamabad, Koaput, Kasturi, Chaya, Kodur, Salem, Waigon, Allepey, Karur, Tekurpeta (Sasikumar, 2005, 230-232).

La cúrcuma se cultiva por sus rizomas, que se emplean como especia, como materia prima en la producción de colorantes naturales, como medicina, entre otros. Uno de los usos crecientes es el uso del extracto de esta planta como colorante alimentario de dos formas, como cúrcuma y curcumina; denominados ambos estados en general como cúrcuma. Ambos colorantes se encuentran en la lista de aditivos para alimentos permitidos por la FDA. Fuente: FDA, 2013.

Los usos de la cúrcuma son diversos. Se usa como especia, como harina para procesos en las industrias químicas, farmacéuticas, cosméticas y de alimentos también es usada en diversas medicinas tradicionales. En la industria de alimentos se usan extractos de cúrcuma como colorante en los siguientes productos: grasas, aceites y

emulsiones, helados, frutas y hortalizas, productos de confitería, productos de cereales, productos de panadería, carne y productos cárnicos, pescado y productos de pescado, huevos y productos de huevos, especias, sopas, salsas y productos de proteína, los productos alimenticios destinados a una alimentación especial, bebidas, aperitivos salados listos para comer y alimentos compuestos. Los niveles de uso de la curcumina están en el rango de 5 a 500 mg / kg dependiendo de la categoría de alimentos (Stankovic, 2004, 6) .

### **Propiedades de la *Curcuma longa***

Los extractos de la *Curcuma longa* poseen efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos, debido principalmente a la presencia de compuestos fenólicos (Chen et al., 2008, 112). Los compuestos menos polares como la curcumina, gingeroles han reportado diferentes actividad biológicas, entre ellas, antifúngico, insecticida y antiinflamatoria (Chen et al., 2008, 112). Los principales compuestos fenólicos presentes en la *Curcuma longa* son los curcuminoides. Las actividades biológicas reportadas para la *Curcuma longa* son debidas principalmente a los curcuminoides.

La curcumina es un potente antioxidante, lo que disminuye el daño celular debido a que protege las membranas biológicas contra la peroxidación. La peroxidación de los lípidos es una reacción en cadena de radical libres, que conduce a los daños de las membranas celulares. La inhibición de la peroxidación por la curcumina se atribuye principalmente a la reacción de esta con los radicales libres que intervienen en la peroxidación. El mecanismo por el que actúan como antioxidantes se debe a la

presencia de los grupos OH fenólicos y al grupo enol en la estructura de los curcuminoides. Se plantea que el mecanismo vía HAT (*Hydrogen atom transference*) se da en los grupos OH fenólicos al poseer una menor BDE (*bonding disociation energy*) que el hidrogeno del enol.

En algunos estudios anteriores se han reportado diferencias de las capacidades antioxidantes de rizomas de *Curcuma longa* secos y frescos obtenido de manera in vitro, se ha encontrado que los rizomas frescos tienen una capacidad antioxidante mayor a los rizomas secos y que los materiales obtenidos en el laboratorio presentan una capacidad antioxidante mayor a la de la muestra de harina comercial asociado al contenido de curcuminoides (Cousins, Adelberg, Chen, & Rieck, 2007, 134). Adicionalmente la cúrcuma presenta capacidad antioxidante significativa cuando es usada en cocción de alimentos y en remedios caseros. Investigaciones in vivo indican que la cantidades de cúrcuma (curcuminoides) presentes en el currie generan una protección antioxidante adecuada (Tilak, Banerjee, Mohan, & Devasagayam, 2004, 803).

La *Curcuma longa* ha sido usada por cientos de años en la medicina alternativa en el tratamiento de inflamaciones, se ha encontrado que ha disminuido inflamaciones en patologías como: edema, colitis ulcerativa, artritis reumatoidea y pancreatitis. Estos resultados permiten pensar en el uso de la *Curcuma longa* como coadyuvante en tratamientos alternativos de inflamaciones (Jurenka, 2009, 151). La actividad anti-inflamatoria natural de la curcumina es comparable con fármacos esteroideos y no esteroideos como la indometacina y fenilbutazona. Su propiedad anti-inflamatoria parece estar mediada a través de la inhibición de la inducción de la COX-2, LOX, iNOS

y la producción de citoquinas tales como interferón- $\gamma$  y el factor de necrosis tumoral y la activación de factores de transcripción como NF- $\kappa$ B, and AP-1 (Menon & Sudheer, 2007, 111).

Se ha reportado como resultado de análisis en ratones que la curcumina tiene efectos neuroprotectores contra disfunción cognitiva y el daño oxidativo generado por el aluminio. (A. Kumar, Dogra, & Prakash, 2009, 388).

El colorante obtenido de la cúrcuma también ha presentado efectos antitumorales en cáncer de páncreas, suprimiendo la proliferación celular en estudio realizado en ratones (Kunnumakkara, Guha, Krishnan, Diagaradjane, Gelovani, and Aggarwal, 2007, 59). Las propiedades quimioprotectoras de la Curcuma se debe a la supresión de tumores. El potencial anticancer de la curcumina se debe a la capacidad para suprimir la proliferación de una amplia variedad de células tumorales (Huang, Newmark, & Frenkel, 1997, 32).

La curcumina en estudios in-vivo en ratas mostró reducción de los lípidos en la sangre, especialmente el colesterol. Las ratas alimentadas con 0,1% de curcumina, junto con una dieta de colesterol, tenían aproximadamente la mitad del colesterol en sangre que las ratas alimentadas con la misma cantidad de colesterol, pero sin curcumina. Estos resultados son prometedores para el uso de ésta en tratamientos de enfermedades asociadas a altos niveles de lípidos y colesterol en sangre como la aterosclerosis (Olszanecki R1, Jawień J, Gajda M, Mateuszuk L, Gebaska A, Korabiowska M, Chłopicki S, 2005, 633).

### **Compuestos fitoquímicos de la *Curcuma longa***

Las plantas zengiberaceas contienen principalmente aceites esenciales,

incluyendo terpenos, alcoholes, cetonas, flavonoides, carotenoides y fitoestrogenos.

De 110 especies del género cúrcuma, sólo alrededor del 20 especies se han estudiado fitoquímicamente (Ravindran, P. Babu, N. Sivaraman, K., 2007, 71).

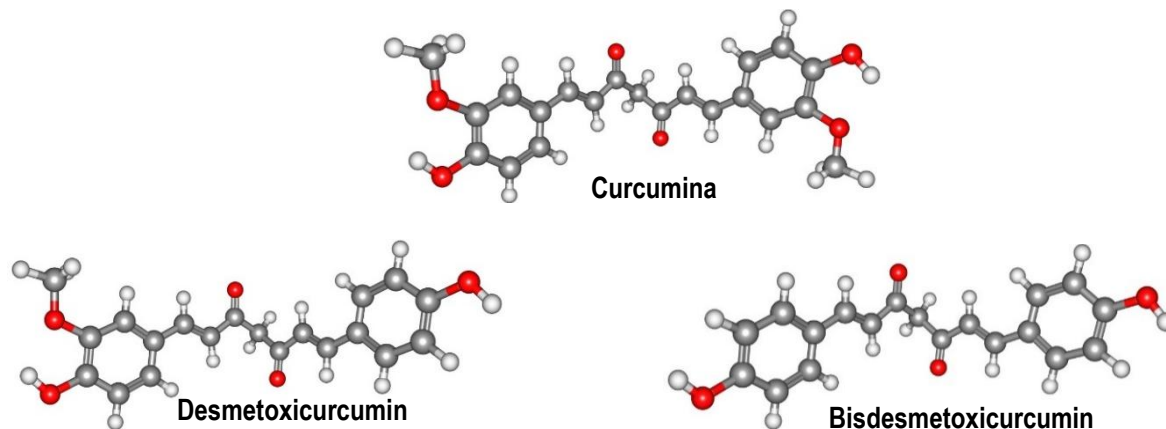
La *Curcuma longa* es la especie químicamente más investigada de Curcuma hasta la fecha, al menos 235 compuestos, principalmente fenólicos y terpenoides han sido identificados, incluyendo diarilheptanoides (incluyendo comúnmente conocidos como curcuminoides) diarilpentanoides, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos, alcaloides y esteroides, entre otros. (Li et al., 2011, 30).

Los curcuminoides son compuestos de alto interés en la cúrcuma, se ha reportado que la “curcumina” comercial es usualmente una mezcla de tres curcuminoides, cerca de 71,5 % curcumina, 19,4% desmetoxicurcumina y 9,1% disdesmetoxicurcumina (Solyom, Metzler, Pfeiffer, & Simone, 2003, 258). En la planta también se han identificado otros compuestos, dentro de estos se encuentran seis fenilpropenos manoméricos, ácido vanílico y vainillina en hojas principalmente. 185 terpenos se han encontrado en hojas, flores y rizomas de la *Curcuma longa*, incluyendo 68 monoterpenos, 109 sesquiterpenos, cinco diterpenos y tres triterpenoides. Adicionalmente se ha reportados algunos esteroides y ácidos grasos (Li et al., 2011, 32).

El contenido de curcuminoides en las raíces de la cúrcuma varía dependiendo de las variedades, localizaciones geográficas de las plantas y condiciones de cultivo, entre otras. El contenido de curcuminoides es un factor importante en el desarrollo y la selección de materiales de siembra adicionalmente también influye en la calidad de la cúrcuma.

### Curcuminoides metabolitos secundarios de mayor interés en la cúrcuma

Los compuestos fenólicos están relacionados con funciones fisiológicas que incluyen la protección frente a la radiación UV y a las condiciones de estrés biótico. Los curcuminoides son los principales colorantes de la cúrcuma, son el principal grupo de compuestos fenólicos denominados diarilheptanoides, metabolitos secundarios producidos principalmente en los rizomas de la cúrcuma. Se han identificado tres curcuminoides (Figura 3), la curcumina ((1E,6E)-1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona), desmetoxicurcumina ((1E,6E)-1-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-7-(4-hidroxifenil)hepta-1,6-dieno-3,5-diona) y la bisdesmetoxicurcumina ((1E,6E)-4-Hidroxifenil)-7-(4-hidroxifenil)hepta-1,6-dieno-3,5-diona). Los tres otorgan la pigmentación característica a los rizomas de la *Curcuma Longa*.

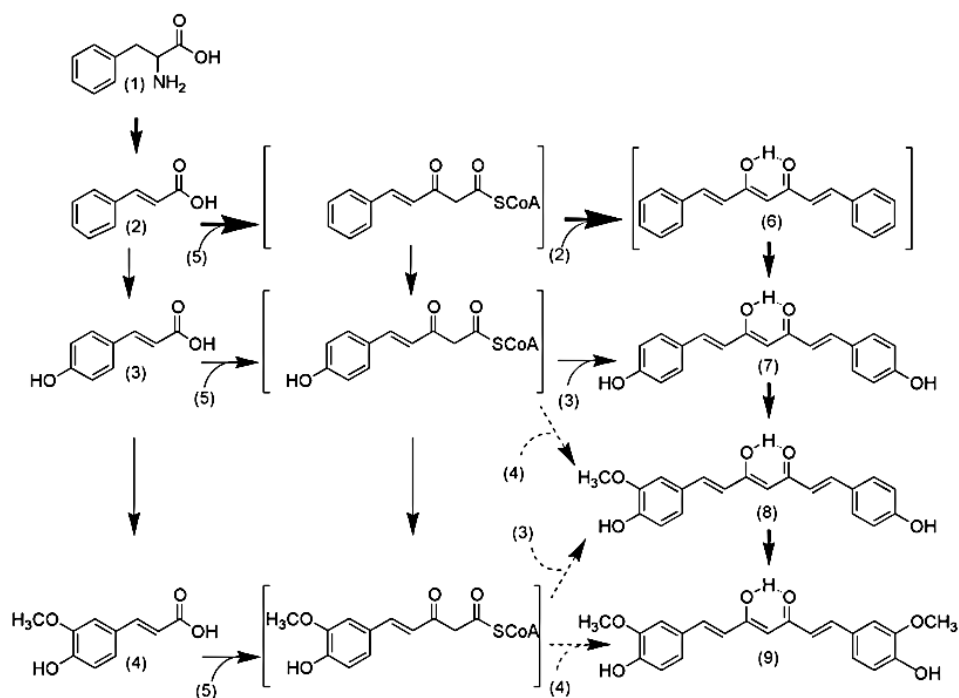


**Figura 3.** Estructura molecular de los curcuminoides presentes en la *Curcuma longa*

La estructura química de la curcumina fue determinada en 1970 y en los últimos años se han estudiado los potenciales usos medicinales de esta (G.K. Jayaprakasha, Jagan Mohan Rao, & Sakariah, 2005, 537).

La ruta de formación de los curcuminoides ha sido estudiada y se han propuesto dos rutas biosintéticas los curcuminoides podrían formarse a partir de la condensación de dos moléculas de p-coumaroyl-CoA con una molécula de malonil-CoA a través de la acción de la enzima policétido sintasa (o similar). La bisdemetoxicurcumina sería entonces transformada en demetoxicurcumina y luego a curcumina a través de dos reacciones de hidroxilación seguida de una O-metilación. Alternativamente, es probable que la enzima sintasa curcuminoide pueda utilizar la CoA-esteres de ambos ácidos p-coumarico y ácido ferulico como sustrato (Ramirez-Ahumada, Timmermann, & Gang, 2006, 224). De acuerdo a las dos posibles rutas biosintéticas planteadas los curcuminoides poseen una ruta biosintética mixta una que proviene de la ruta del Shikimato y la otra del acetato-malonato.

Según lo revelado por precursores marcados con  $^{13}\text{C}$  la ruta biosintética de los curcuminoides sugieren el uso de dos cinamoil - CoAs y un malonil - CoA, y que los grupos hidroxilo y metoxi-funcional en los anillos aromáticos se introdujeron después de la formación del esqueleto curcuminoide, ver figura 4 (Kita et al., 2008, 1797).



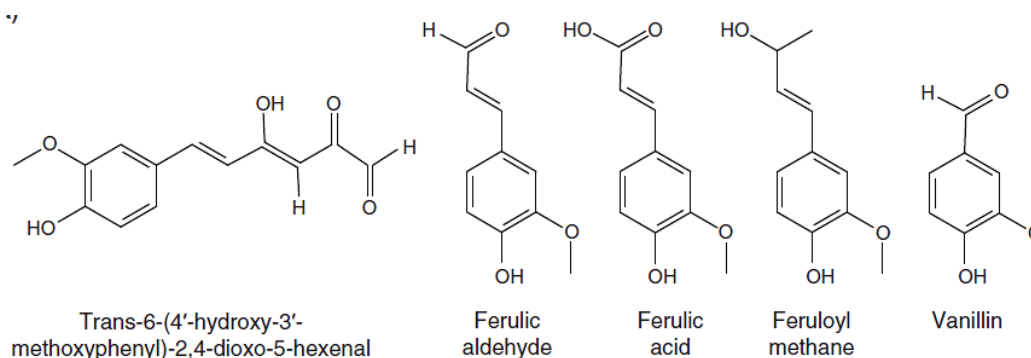
**Figura 4.** Ruta biosintética de los curcuminoides en la curcuma. Propuesta de mayor probabilidad (flechas gruesas) y de menor probabilidad (flechas delgadas y punteadas) (1), Fenilalanina; (2), ácido cinámico; (3), ácido p-coumarico; (4), ácido ferulico; (5), ácido malónico; (6), esqueleto intermedio de los curcuminoides; (7), bisdesmetoxicurcumina; (8), desmetoxicurcumina; (9), curcumina. Tomado de Tomoko Kita y col. (Kita et al., 2008, 1797).

### Estabilidad de los curcuminoides

La curcumina es un pigmento soluble en aceite, prácticamente insoluble en agua a pH ácido y neutro. La solubilidad de la curcumina se aumenta mediante la incorporación en diversos sistemas micelares. Los curcuminoides son relativamente estables a pH ácido, pero rápidamente se descomponen a pHs por encima de pH neutro de acuerdo a resultados de un estudio de la degradación alcalina de la curcumina (Tønnesen & Karlsen, 1985, 404). La estabilidad de la curcumina en soluciones buffer de pH 7.2 y la caracterización de sus productos de degradación fue

estudiada por Ying-Jan Wang y col encontrando que el principal compuesto de degradación fue el trans-6-(4'-hidroxi-3'-metoxifenil)-2,4-dioxo-5-hexenal y la vainillina. El ácido ferúlico y el feruloil metano fueron identificados como productos de degradación menores (Wang et al., 1997, 1873).

Debido al pH estudiado se plantean esas mismas sustancias como productos de degradación en el organismo figura 5.



**Figura 5.** Productos de degradación de la curcumina Shen & Ji, 2012, 139).

Los curcuminoides no son estables a la luz, especialmente en soluciones. Se ha reportado que la curcumina muestra fotodescomposición cuando se expone a radiación de UV / Visible, tanto en solución como en estado sólido como una película delgada. Se han reportado varios productos de degradación incluyendo productos de ciclación de la curcumina (Tønnesen et al., 1986, 118). La curcumina puede ser protegida de la luz por el uso de empaques con barrera a la radiación. En estudios de solubilidad y estabilidad de la curcumina en soluciones alginato se reporta que la solubilización se ve ligeramente influenciada por el pH. No se encontró sin embargo que estas moléculas estabilizaran a la curcumina frente a la degradación fotolítica de la curcumina (Tønnesen, 2006).

## **Respuesta de los cultivos de *Curcuma longa* a condiciones agroecológicas**

El rendimiento de producción de una planta se ve afectada por diversos factores entre estos se tienen los nutrientes disponibles de suelo, agua y aire para la planta, el tipo y estabilidad del suelo, la disponibilidad de agua, la radiación solar y el tipo de material de siembra. Las condiciones ambientales en los que se encuentran los cultivos tienen un efecto directo en el rendimiento de los cultivos. El contenido de los polifenoles, sustancias de alto interés en la cúrcuma varía con las condiciones ambientales y estímulos ambientales difiere. El contenido de polifenoles también varía entre especies y tejidos de la planta.

En el caso de la *Curcuma longa* se ha encontrado que el pH del suelo en el que se cultiva tiene un efecto significativo en la producción de proteína, ácidos grasos y curcuminoides, tal como se reporta en un estudio japonés en el cual al sembrar material en diferentes suelos diferenciados principalmente por el valor de pH se encuentra que la Curcuma sembrada en un suelo con pH de 5,2 muestra mayor contenido de proteínas, ácidos grasos y curcuminoides que las otras plantas cultivadas en suelos con pH de 7,4 y 4,4 (A. Hossain & Ishimine, 2005, 485).

Se han realizado estudios para evaluar los efectos de la fertilización con N, P y K solos y en combinación en el crecimiento, rendimiento y contenido de curcumina en cultivos de *Curcuma longa*. Se ha reportado que la fertilización simultánea con nitrógeno, fosforo y potasio proporciona el rendimiento más alto, pero no aumenta el contenido de curcumina. La fertilización con nitrógeno y potasio genera el segundo rendimiento más alto y el segundo mayor contenido de curcumina, lo que indica que esta combinación es la mejor para promover tanto el rendimiento como el contenido de

curcumina en la *Curcuma Longa* (Akamine, Hossain, Ishimine, Yogi, & Hokama, 2007, 485). La liberación de macronutrientes como N, P y K también ha sido estudiado en cultivos de *Curcuma*, se reportó que la eficiencia agronómica, la recuperación y el factor parcial de productividad se puede mejorar de manera significativa por la aplicación de fuentes de N, P y K en forma de tableta (Jagadeeswaran, Murugappan, & Govindaswamy, 2008, 68).

El contenido de curcumina, metabolito secundario de mayor interés en la cúrcuma, varía dependiendo del lugar geográfico del cultivo debido a las condiciones agro-climáticas y la genética de la especie vegetal.

Las variedades de una especie vegetal pueden presentar respuestas de adaptación diferentes a las condiciones ambientales en las que se encuentren los cultivos. En la actualidad hay cerca de 20 variedades mejoradas de *Curcuma longa* en la India (Sasikumar, 2005, 231), todas estas mejorías buscan aumentar el rendimiento de la producción de rizomas y el incremento en el contenido de sustancias bioactivas. La *Curcuma longa* es una planta de gran importancia económica para la producción de la curcumina, oleorresina y aceites esenciales que se utilizan en las industrias farmacéutica y cosmética.

Los rendimientos de las sustancias de uso nutracéutico más abundantes de la cúrcuma de diferentes regiones agroclimáticas fueron estudiados para averiguar los genotipos elite más prometedores en términos de alto contenido de curcumina, oleorresina y de aceite esencial. Se encontró que el contenido de curcuminoides varía desde 0,5 %p/p hasta 8,8 %p/p dependiendo del genotipo. El contenido de oleorresina varía desde 6% hasta 14% p/p. Adicionalmente se concluyó que climas cálidos y

húmedos favorecen el rendimiento de producción de metabolitos secundarios; dependiendo a su vez del genotipo propio de cada región. (S. Singh, Joshi, & Nayak, 2013, 171).

En estudios realizados por Anandaraj y colaboradores se encontró que el medio ambiente juega un papel importante en el rendimiento de producción de rizomas de *Curcuma longa* y en el contenido de curcumina. La variación debida al medio ambiente en ambos parámetros fue del 54,8% y del 42,9% respectivamente (Anandaraj et al., 2014, 362). La estabilidad del contenido de curcumina en la cúrcuma y el rendimiento del cultivo es una de las preocupaciones en las industrias de especias, al igual que la respuesta de genotipos a diferentes condiciones agroclimáticas.

Factores como el método de siembra, densidad de plantas y material de siembra pueden influir en el rendimiento, crecimiento y calidad de la cúrcuma. En un estudio previo llevado a cabo en la India se analizó el efecto de esos factores en el cultivo de cúrcuma encontrando que el contenido de curcumina no cambió debido a los diferentes métodos de siembra, densidades de plantas y materiales de siembra. El rendimiento de producción de rizomas frescos es mayor con la menor distancia entre plantas y menor cuando el tamaño de la semilla es menor (B. Kumar & Gill, 2010, 46).

### **Efecto poscosecha sobre la calidad de la *Curcuma longa***

Los tratamientos poscosecha tienen un efecto directo sobre la calidad de los productos agrícolas y sus derivados. La elección del tipo de procesos que se efectúan en esta etapa determina las características fisicoquímicas y microbiológicas de los productos finales.

Las pérdidas poscosecha afectan la rentabilidad y eficiencia de un cultivo, estas pérdidas de acuerdo a la FAO se clasifican en primarias y secundarias (GROLLEAUD, 2016).

Las primarias se dividen en biológicas y microbiológicas (esencialmente plagas y enfermedades), en químicas y bioquímicas (contaminación con pesticidas y productos químicos, obscurecimiento fenólica, toxinas y sabores desagradables producidos por enfermedades), en mecánicas (cortes, machucones, abrasiones, caídas), del medio ambiente físico (sobrecalentamiento, heladas, congelación) y fisiológicas (envejecimiento)

Las secundarias se dividen en secado o curado inadecuados, infraestructura de almacenamiento y/o administración inadecuadas, transporte inadecuado, planificación inadecuada de la producción y de la cosecha, entre otras.

La principal forma de comercialización de *Curcuma longa* es en harina, esta se obtiene a partir de los rizomas de la planta, la obtención de la harina implica el paso por diversos procesos poscosecha. Luego de realizar la cosecha se deben someter los rizomas a procesos de lavado, corte, desinfección, secado molienda y empaque. En cada uno de estos procesos se debe minimizar la pérdida de material y la disminución de la calidad de los mismos. La calidad de la harina se determina principalmente por el contenido de curcuminoides (min 2% p/p), humedad máxima, % ceniza y las características microbiológicas como se menciona en la justificación.

### **Material de empaque**

El proceso de empaque es una etapa crítica ya que influye en la calidad del producto durante todo el periodo de almacenamiento y puesta de este en anaquel es

por esto que no solo el procesamiento altera las concentraciones de compuestos de interés y la apariencia del producto; la selección del material de empaque influye en la calidad de los productos afectando características como color y composición de nutrientes.

La alteración del contenido de compuestos durante el almacenamiento generalmente son el resultado de la interacción entre el producto con el oxígeno y la luz cuando estos pasan la barrera que genera el empaque (Pérez-Vicente, Serrano, Abellán, & García-Viguera, 2004, 639).

Trabajos realizados en jugos han detectado cambios en el contenido de fenoles totales en estos dependiendo del tipo de material de empaque usado, aunque sin reportar un efecto significativo en el cambio de la capacidad antioxidante (Pérez-Vicente et al., 2004, 643). El tipo de material de empaque que debe usarse en cada producto depende de la composición de este y de la estabilidad de sus componentes, esto permite determinar factores críticos a controlar como presencia de oxígeno, luz o humedad.

El material de empaque también puede tener un efecto adicional y está asociado a la interacción producto –empaque, en esta interacción se pueden presentar procesos de absorción de compuestos por el empaque (Ayhan, Yeom, Howard Zhang, & Min, 2001, 672), permeación a través del empaque del interior y exterior de este o migración de componentes del material de empaque al producto.

El tipo de envase a usarse debe proteger los productos y para cumplir con esto, deben tener las siguientes características: Grado alimenticio, características mecánicas adecuadas, permeabilidad al vapor de agua permeabilidad a los gases, permeabilidad

a los aromas, permeabilidad a las grasas y protección a la luz.

Los materiales de empaque más usados son distintos tipos de polímeros, vidrio y aluminio en laminaciones. El vidrio es usado por su buena barrera y protección a los productos. El aluminio en laminaciones ofrece excelente barrera a factores degradadores de alimentos como la luz. El uso de los polímeros se incrementó en los últimos años. Su gran desarrollo ha permitido obtener envases con buena barrera al oxígeno y en general a los gases con un bajo costo (Lange & Wyser, 2003, 150).

Se ha reportado que los curcuminoides y la cantidad de aceite esencial en los extractos obtenidos de harina de cúrcuma varían dependiendo del tipo de almacenamiento que sufre la harina (Li et al., 2011, 46), garantizar el material de empaque adecuado prolonga la calidad del producto ya que impide que se produzcan procesos de degradación entre compuestos de interés como los curcuminoides y agentes como la radiación UV-VIS la cual degrada los curcuminoides.

### **Polietileno como material de empaque**

Los polietilenos son ampliamente utilizados en el embalaje como recubrimientos, películas y láminas, en moldeados o artículos moldeados por soplado. Estos son materiales suaves, tienen menos resistencia al calor (comparado con el vidrio) y productos químicos, tienen una alta resistencia al impacto y resistencia al agrietamiento por tensión. En la actualidad existen cientos de polietilenos con una variedad de punto de fusión, densidades y grados de polimerización. Una de sus grandes ventajas son los bajos costos, propiedades dieléctricas, resistencia química y propiedades de barrera. Son extremadamente versátiles pueden ser modificados a través de copolimerización o cross-linking (Griffin, 2012, 154). El polietileno es uno de los polímeros más inertes y no

constituye peligro en condiciones normales de manipulación.

### **Polietilenos de baja densidad (LDPE - Low Density Polyethilenes)**

En la industria de alimentos es el polímero más usado, como película o como pieza sólida. El polietileno se produce por polimerización de etileno a altas presiones (15000 a 45000 psi). Debido al alto grado de ramificación de la cadena lateral los LDPE presentan rangos de densidad de 0.910 a 0.935 (Griffin, 2012, 170). Presenta un punto de Fusión 120 – 180 °C, su cristalinidad se encuentra entre 50 y 70%, es un material blando y translucido, presenta buena transparencia. Dentro de sus propiedades mecánicas se destaca su resistencia a la elongación, y resistencia al impacto (Robertson, 2006, 21). Es un material que funciona como excelente barrera al agua y vapor de agua, no es buena barrera a los gases. Su resistencia química es buena contra ácidos y bases pero es muy sensible a los hidrocarburos.

### **Vidrio**

Luego de la cerámica fue el material más usado para el envasado y la conservación de productos en la antigüedad. El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo. El vidrio se obtiene a unos 1500 °C a partir de arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) (Vidrio, s.f).

Las características más importantes del vidrio son transparencia (se puede colorear para absorber de luz y evitar procesos de fotodegradación); es inerte no se oxida, no transmite sabores, la interacción entre el contenido y el envase es mínimo; es hermético presenta barrera aislante este impide el paso de agua, vapores y gases; ofrece volumen estable y alta resistencia térmica; no sufre degradación en el tiempo;

alta resistencia térmica lo que permite ser llenado en caliente (Pascual-lizaga, 2003, 80).

El vidrio presenta varias desventajas; la más significativa es la fragilidad, es vulnerable a impactos durante los procesos de llenado o en el transporte; puede estallar por procesos de congelación o aumentos de presión interna (cuando se almacenan líquidos) adicionalmente es un material pesado (10 veces más que una de plástico) aumentando costos de distribución y comercialización.

### **Bolsa metalizada**

Una bolsa laminada está conformada por dos o más capas de diferentes materiales unidas entre sí por medio de adhesivos resistentes y certificados para formar parte de una bolsa para alimentos, agroquímicos, café, cosméticos, farmacéuticos, etc.

La función de que una bolsa laminada es contener, ofrecer mayor seguridad, hacer barrera al oxígeno y a la humedad para proteger el producto a empacar.

El material generalmente usado en la producción de dichos materiales es el polipropileno biorientado, este se obtiene del polipropileno el cual está formado por átomos de carbono enlazados entre sí, con ramificaciones de grupos metilo. Los polipropilenos presentan baja densidad 0.9 g/m<sup>3</sup>, alta temperatura de ablandamiento comparada con los polietilenos (140-150°C), buena resistencia a las grasas y químicos, alta resistencia a las temperaturas, resiste procesos de esterilización y llenado en caliente. El BOPP (biorientado polipropileno) se obtiene por estiramiento biaxial de la película de polipropileno en dos direcciones perpendiculares, lo cual le otorga una

elevada orientación y excelentes propiedades ténsiles en ambas direcciones (Vries, Bonnebat, & Beautemps, 1977, 110).

La estructura típica de las bolsas metalizadas son laminaciones de BOPP/BOPP metalizado(la lámina metalizada se obtiene generalmente con aluminio), dando una muy buena protección a la humedad y a la luz (Sukhareva, Yakovlev, & Legonkova, 2008 253). Las ventajas de los materiales laminados son incrementos en la resistencia a la acción de la humedad, solventes orgánicos, altas temperaturas, permeabilidad de gases y vapores, resistencia al ataque de bacterias y protección del producto de la radiación (Sukhareva, Yakovlev, & Legonkova, 2008- 277).

### **Proceso de secado poscosecha**

El secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y los granos o de manera general. Se define el secado como la operación unitaria responsable de la reducción del contenido de humedad de cierto producto, hasta un nivel que se considera seguro para el almacenamiento de éste. Se entiende que es seguro un nivel de humedad por debajo del cual se reduce la actividad acuosa de los productos y se dificulta el ataque de insectos y hongos. Los procesos de secado permiten conservar los alimentos, inhibe la proliferación de microorganismos

Las bacterias, levaduras y hongos necesitan agua en el alimento para crecer. El secado les impide efectivamente sobrevivir en él esto se ve reflejado en un aumento de la vida útil del producto. Los materiales vegetales son objeto de degradación por muchas variables naturales del ambiente como ya se ha mencionado calor, luz,

oxígeno, humedad. Los mecanismos de secado deben proveer calidad al producto y mantener el valor nutricional de este (Urwaye, 2008, 50).

El secado otorga una mayor vida útil al producto adicionalmente la generación de diversidad de productos y la reducción de volumen son las razones de la popularidad de las verduras y frutas secas (Prakash, Jha, & Datta, 2004, 305).

El medio de secado puede ser vapor sobrecalentado, aire caliente o gases generados en procesos de combustión. El secado también se puede dividir de acuerdo al tipo de transferencia de calor en secado directo o por convección, los secaderos directos transfieren el calor por contacto del producto con un gas calentado, normalmente aire caliente. Secado indirecto o por conducción, los secaderos indirectos transfieren calor al producto mediante el contacto con una superficie calentada por aire, vapor o un líquido térmico. Pueden utilizarse camisas (intercambiadores) para aportar el calor. Por radiación se aporta energía al material a través de ondas electromagnéticas: infrarrojos o microondas. No está muy extendido su uso a nivel industrial para biomasa, pero sí para aplicaciones donde tiene gran importancia la calidad del producto (*Secado térmico*, s.f.)

El secado por liofilización es otro método muy usado, este permite secar el producto por congelación mantiene también el color, la forma, el sabor y los valores nutricionales de la materia prima, mejor que otros métodos de secado. Es más costoso que los métodos tradicionales (Ratti, 2001, 311).

La pérdida de propiedades nutracéuticas durante el secado y almacenamiento de alimentos y productos agrícolas se debe principalmente al efecto de la temperatura sobre los metabolitos y/o sustancia de interés y la concentración de estos en el

material. Existe otro tipo de pérdida y está asociado a la interacción entre los compuestos producidos durante el almacenamiento o secado y favorecido principalmente por el aumento de la temperatura. El efecto de estos procesos poscosecha sin duda también dependerá de la sensibilidad de los compuestos a las condiciones de los procesos como la temperatura, pH, oxígeno, luz (radiación) y humedad, entre otros.

Los procesos de secado no solo incluyen el problema de la degradación o retención de compuestos también se tienen otros problemas como el tiempo de duración del proceso y la maximización de la eficiencia energética sin dejar de relacionar estos parámetros con la calidad del producto (Banga & Paul Singh, 1994, 192).

### **Secado en Lechofluidizado**

Este proceso de secado se genera aprovechando un proceso de fluidización. Este se produce en un sólido disgregado cuando es atravesado por una corriente de aire en flujo cruzado, éste se expande, burbujea y las partículas quedan en suspensión, sin llegar al transporte neumático. Esto se logra cuando se hace pasar un gas a través de una capa de material soportadas por una rejilla, el gas a caudales bajos se filtra a través del lecho de material. La fuerza de empuje del aire equilibra el peso de las partículas atravesadas por la corriente; el sólido pasa comportarse como si fuera un líquido. El fenómeno de la fluidificación permite el mayor intercambio térmico posible, por la flotación del producto en la corriente de aire. El caudal de aire de secado atraviesa las partículas y permite la isothermicidad de éstas y una completa

transferencia de energía, garantizando el proceso deseado (Hovmand, 1995, 195).

Las burbujas que se generan en el proceso se unen y se elevan a través de la capa de partículas, provocando una mezcla vigorosa de las partículas fluidizadas.

En el secado de lecho fluidizado el material se seca mientras está suspendido en el gas de secado, las capas del fluidizado adquieren la forma del recipiente que la contiene y tienen una viscosidad cercana a cero, cosa que permite que los objetos pesados queden en la base y flotan los objetos ligeros.

El secado de lecho fluidizado tiene varias ventajas alta intensidad de secado y alta eficiencia térmica con temperatura uniforme y controlable. Requiere menos tiempo de secado debido a las altas tasas de transferencia de calor y masa. La técnica ofrece facilidad de operación y mantenimiento del equipo además de adaptabilidad a la automatización (Mujumdar, A. ; Devashastin, S., 2005).

Esta técnica sin embargo puede generar erosiones en las superficies del producto y generar un producto con humedad variable como resultado de los tiempos de residencia de las partículas en el lecho fluido (Hovmand, 1995, 180).

Con lotes de secado pequeños se obtiene un producto de calidad uniforme debido a la homogeneidad en lecho en cualquier instante durante su funcionamiento.

### **Secado solar**

El secado solar al aire libre ha sido usado desde la antigüedad para el secado de plantas, semillas, frutas, carne, madera y otros productos agrícolas y forestales como un medio para su preservación. Sin embargo este proceso de secado tiene limitaciones. Requiere grandes áreas para su implementación, pérdida de control del proceso de secado, posible degradación debido a reacciones bioquímicas o

microbiológicas debido a los largos tiempos de secado, la eficiencia depende de la temperatura y humedad relativa de la zona de secado. Tiene la ventaja de ser una energía gratis y renovable, es una fuente de energía limpia, abundante y adicionalmente es económica (EPA, 2013, 10).

El secado solar es clasificado en secado solar natural, secado solar semiartificial y secado artificial con asistencia solar.

El secado solar natural simple es usado en secados artesanales, su principal característica es que necesita calor para conseguir el secado del material a través de radiación directa. Este proceso depende de la radiación solar, temperatura del ambiente y humedad relativa. El material vegetal es expuesto a radiación en cámaras de secado; el calor se genera por absorción de la radiación solar en el producto en sí y en las superficies internas de la cámara de secado. Este calor evapora la humedad del producto además, sirve para calentar y expandir el aire, causando la eliminación de la humedad por la circulación de aire (Imre, 1995, 374).

### **Secado en Horno**

En este tipo de secado se hace uso de un horno, dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión (leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico).

En el secado en horno convencional se controla en la cámara el flujo de aire, temperatura, y humedad para proporcionar un secado tan rápido como pueda ser.

Para calentar la cámara de secado y extraer el agua de los productos, los hornos convencionales utilizan el calor proporcionado por serpentinas de vapor, agua caliente o aceite, o el calor directo de un quemador sea de petróleo, gas natural, desperdicios de biomasa y muy usado actualmente la electricidad. El calor que se genera calienta el aire para extraer el agua del producto por evaporación, cuando el aire se encuentra saturado de vapor se realiza una circulación de aire caliente por medio de ventiladores. Entre calentar estas grandes cantidades de aire y calentar el agua para evaporarla, los hornos convencionales continuamente utilizan bastante energía.

Se ha reportado que los procesos de secado tienen un efecto significativo en la calidad de los productos procesados. Para vegetales y frutas se ha reportado que afectan la capacidad antioxidante, el contenido de polifenoles, b-carotenos, tocoferol y vitamina c, cuando las temperaturas de secado son altas estas sustancia sufren procesos de degradación lo cual puede ser contrarrestado con la disminución de la temperatura del proceso de secado para mantener el la calidad del producto (Rodríguez et al., 2016, 540)(Joshi, Rupasinghe, & Khanizadeh, 2011, 455) (Başlar, Karasu, Kiliçli, Us, & Sałdıç, 2014, 455).

El secado térmico (horno y el secado al sol) disminuyó levemente la capacidad antioxidante en especies cingiberáceas dentro de estas la *Curcuma longa* (Chan et al., 2009, 171). Se ha encontrado que cuando se realiza secado solar hay una disminución en el contenido de curcuminoides a diferencia del secado en horno en el que no se observa una disminución en el contenido de curcuminoides incluso a diferentes temperaturas (Prathapan, Likhman, Arumughan, Sundaresan, & Raghu, 2009, 1441-1443).

## Proceso de desinfección

La desinfección es una de las etapas de procesamiento más importantes que afectan a la calidad, la seguridad y el tiempo de conservación del producto final. El cloro es el desinfectante más utilizado en la industria (Ölmez & Kretzschmar, 2009, 687).

Los métodos de desinfección convencionales de saneamiento de superficies y de los productos son por medios químicos, que por lo general implican la aplicación de los desinfectantes, seguido de un enjuague con agua potable. Una amplia variedad de desinfectantes químicos se han probado con diferentes grados de efectividad. Los más usados hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio, clorina y ácidos orgánicos débiles (Gil, Selma, López-Gálvez, & Allende, 2009, 39). La efectividad del tratamiento de desinfección es dependiente de algunos factores, dentro de estos se encuentran la concentración del desinfectante, la temperatura, el pH del agua y el contenido de materia orgánica en la misma. Estos parámetros deben ser monitoreados, el pH y el contenido de materia orgánica (m. o.) requieren de mucho control. El aumento de la m.o. en el agua trae como consecuencia una mayor demanda de desinfectante, la formación de subproductos que en algunos casos son tóxico además que afecta el contacto entre el desinfectante y el patógeno. El pH debe ser continuamente medido cuando utilizamos desinfectantes que afectan los valores del pH en el agua, como los hipocloritos y en menor medida dióxido de cloro. Para evitar cambios drásticos en estos parámetros se recomienda el recambio de agua y el prelavado del material vegetal (Cesavebc, 2013, 5).

También existen métodos físicos que incluyen ultrasonido, alta presión (HP),

campo eléctrico de pulsos de alta intensidad (HELP), la radiación ultravioleta (UV), la frecuencia de radio (RF) y la radiación ionizante. Todos estos métodos han demostrado ser capaz de matar o inhibir el crecimiento bacteriano.

La desinfección es un proceso que se aplica a los equipos de procesamiento de productos, los ingredientes alimentarios, materiales de empaque, manos de los trabajadores es decir todo lo que este en contacto con el producto. La limpieza de todas las superficies de contacto con el producto es uno de los factores más importantes evitar la contaminación secundaria y para producir productos seguros y sanos (Fukuzaki, 2006, 147). El efecto del proceso de desinfección de rizomas de *Curcuma longa* sobre el contenido de curcuminoides probablemente será minino si el pH del baño con la solución desinfectante es menor a 7 de acuerdo a la información reportada acerca de la estabilidad de los curcuminoides.

## Metodología

### **Evaluación mediante parámetros de calidad de diferentes materiales de *Curcuma longa* cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño.**

La calidad de los rizomas de cúrcuma dependen de diversos factores como el genotipo (Anandaraj et al., 2014, 363), el manejo agronómico, tipo de suelos (A. Hossain & Ishimine, 2005, 94) y condiciones climáticas (Sylvia A Mitchell, 2014, 7). Por lo anterior es importante analizar el efecto de factores como el tipo de material de siembra y las condiciones agroclimáticas sobre el rendimiento del cultivo de *Curcuma longa*. Estos resultados permiten mejorar la productividad de los cultivos. Con estos estudios se pueden elegir materiales de siembra óptimos de acuerdo a las condiciones agroclimáticas de las zonas de interés de los cultivos.

Las respuestas que presenta un cultivo a factores agroambientales pueden ser medidas de diversas maneras. Las variables de medida usadas generalmente son el rendimiento del cultivo y la concentración de algunos metabolitos primarios y secundarios que dependen del tipo de cultivo. Una de las variables de interés en el cultivo de *Curcuma longa* es la concentración de curcuminoides debido a los usos y aplicaciones que tienen los productos del cultivo.

Para evaluar materiales vegetales y su respuesta en distintas localidades se planteó un trabajo que consistió en la siembra de tres materiales, dos nacionales (local y Putumayo) los cuales hacen parte de algunos cultivos presentes en Colombia y uno internacional (India) en tres localidades del occidente antioqueño (Uramita, Cañasgordas, Sopetrán) que presentan condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento de la cúrcuma.

Debido a los diversos usos que presenta la *Curcuma longa*, que van desde aplicaciones en la medicina, producción de curry, colorantes para alimentos, textiles y cosméticos y hasta suplemento dietario (Li Shiyou, Yuan Wei, Deng Guangrui, Wang ping, Yang Paiying, 2011, 29), se determina como parámetro de calidad el contenido de los curcuminoides (curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina) en los rizomas de cúrcuma. Esto debido a que son los metabolitos bioactivos en mayor cantidad en los rizomas.

Rizomas con alto contenido de curcuminoides se convierten en un producto agrícola de mayor calidad. Los beneficios que presenta la cúrcuma a la salud han sido atribuidos a la capacidad antioxidante que ésta presenta, la cual es asociada a la protección que puede brindar a membranas, proteínas y estructuras lipídicas de daños oxidativos (Maheshwari, Singh, Gaddipati, & Srimal, 2006, 2081), debido a esto también se realizó el análisis de la capacidad antioxidante.

## **Materiales y métodos**

### **Parcelas experimentales**

#### **Caracterización de los suelos de las parcelas experimentales**

Previo a la siembra de los rizomas de *Curcuma longa* y a procesos de fertilización se tomaron muestras de suelos de las fincas donde se desarrollaron los cultivos de cúrcuma.

Para realizar el muestreo se delimitaron las parcelas experimentales. Cada parcela experimental es una unidad de muestreo, de la cual se tomaron 5 submuestras siguiendo el protocolo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Para la toma de

submuestras se removieron las hojarascas, la profundidad de muestreo fue de 20 cm y se tomaron aproximadamente 200 g por muestreo.

El análisis de suelo es realizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional sede Medellín.

Los métodos usados en el análisis de suelos fueron: Textura: Bouyoucos; pH: Agua (1:1); Conductividad eléctrica: Extracto de saturación; Materia orgánica: Walkley Black; Al: KCl 1M; Ca, Mg, K, Na: Acetato de amonio 1M; Fe, Mn, Cu, Zn: Olsen -EDTA; B: Agua caliente.

Los resultados de la caracterización de los suelos se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción de las localidades en las que se realizaron los estudios experimentales durante el período 2015 -2016.

Localidad	Coordenada Geográfica	Altitud	Suelo				
			Textura	pH	K; Mg; Ca; Na CmolC/ Kg	P; Mn; Fe; B; Cu; Zn mg/ Kg	MO
Uramita	06°52'37.2" N, 76°12'03.1"O	1182	FArA	6.4	0.66; 4; 15.6; 0.01	187; 4; 22; 0.42; 6; 6	4.3
Cañasgordas	06°45'37.2" N, 76°01'49.5 O	1235	FArA	5.8	1.21; 3.1; 8.4; 0.05	7; 2; 64; 0.34; 3; 1	6.6
Sopetran	06°30'17.1" N, 77°44'18.1 O	1205	FArA	6	0.10; 2; 6.1; 0.11	6; 3; 34; 0.54; 3; 1	2.5

FArA: franco arenoso arcilloso; K: potasio; Mg: magnesio; Mn: manganeso; Ca: calcio; Na: sodio; P: fósforo; Mn: Manganeso; Fe: hierro; B: boro; Cu: Cobre y Zn: zinc; MO: materia orgánica.

## **Elaboración de cultivos experimentales**

Se realizaron parcelas experimentales en tres municipios del Occidente antioqueño. En cada parcela se sembraron tres materiales vegetales con tres repeticiones sorteadas al azar, dando 9 surcos sembrados en cada localidad. La siembra de los materiales se realizó en surcos de cinco metros a chorrillo, echando los rizomas en la era de forma continua y sin distancia de siembra exacta. Las parcelas se realizaron en los municipios de Uramita, Sopetran y Cañasgordas. Las coordenadas de ubicación para cada parcela experimental fueron: finca el Limón (06°52'37.2" N, 76°12'03.1"O) en el municipio de Uramita, finca Oscar Guevara (06°30'17.1" N, 77°44'18.1 O) en el municipio de Sopetran y centro agrario del TECOC (06°45'37.2" N, 76°01'49.5 O) en el municipio de Cañasgordas. Las temperaturas promedio y de precipitación para esas localidades son 24.1°C y 2503,42 mm/año; 24.9 °C y 1926,47 mm/año; 24°C y 2515.99 mm/año respectivamente.

Las fincas donde se realizaron las parcelas demostrativas fueron sometidas a un proceso de fertilización, el cual fue igual para las tres localidades.

La fertilización consistió en la aplicación de fertilizante químico N-P-K (15:15:15) y materia orgánica. El primero se aplicó de acuerdo al método de siembra realizado, asegurando la distribución del material fertilizante para cada plántula a germinar y la futura disposición de nutrientes. Se aplicó 1.8 kg por cada 5 metros sembrado. La aplicación de abono orgánico se realizó después de la aplicación del fertilizante químico para cubrirlo del ambiente. La materia orgánica se aplicó en forma continua sobre toda la era y cubriendo la semilla. Esta materia orgánica se aplicó en una cantidad de 12 Kg por 5 metros sembrados. Al finalizar la fertilización se taparon las

eras. Con el pico de punta y paleta se echó la tierra dispuesta a un lado sobre la semilla de forma homogénea en toda la era y asegurando que toda la semilla quedara cubierta.

### Material Vegetal

Los materiales cultivados fueron dos nacionales denominados: Local y Putumayo y uno internacional denominado India.

Los materiales nacionales provenían de cultivos ubicados en Putumayo y en Uramita, estos se utilizaron como material de propagación. El material internacional se denomina India debido al origen de donde fue importado. Los rizomas nacionales y el proveniente de la India tenían una longitud promedio de 6.5 cm y un diámetro promedio de 1,5 cm. En la figura 6 se observan imágenes de los rizomas de *Curcuma longa* de Putumayo, Uramita e India que fueron usados como material de propagación en las parcelas experimentales.



**Figura 6.** Rizomas de *Curcuma longa*. a) Proveniente de Putumayo. b) Proveniente de India. c) Proveniente de Uramita.

De acuerdo a clasificación taxonómica los materiales vegetales corresponden a la especie *Curcuma longa*, clasificación realizada en el Herbario del Jardín Botánico de Medellín.

### **Preparación de muestras, obtención de harina**

En la última etapa de cosecha del cultivo de *Curcuma longa* se realizó un muestreo aleatorio en los tres municipios. Posterior al muestreo los rizomas fueron lavados y almacenados a -20 °C hasta el proceso de análisis.

Para homogenizar la humedad de las muestras y garantizar el proceso de extracción, las muestras de las tres localidades se sometieron a un secado controlado a 50°C en un horno de convección (estufa universal Memmert GmbH). El secado se realizó hasta tener una humedad menor al 10%.

Posterior a esto se realizó una molienda para obtener una harina de los rizomas, procedimiento realizado en un molino Coffe Grinder (Hamilton Beach Brands Inc).

### **Preparación de muestras – extracción**

Las muestras se trataron con hexano y ultrasonido por 10 minutos para su desengrase, posteriormente la harina desengrasada se sometió a un proceso de extracción usando etanol como solvente y ultrasonido. La extracción se realizó en dos ciclos de 7 min cada uno, luego la muestra se centrifugó a 140000 rpm por 10 min a 20 °C. Los sobrenadantes son almacenados a -20 °C y protegidos de la luz para su posterior análisis de curcuminoides por HPLC.

Las condiciones de extracción de ultrasonido fueron optimizadas con un diseño experimental de cribado (tamizaje) Plackett Burman realizado en un trabajo previo (proyecto Colciencias Desarrollo de una plataforma tecnológica para la extracción piloto de colorantes naturales - Etapa I: curcumina, una estrategia de sostenibilidad, una apuesta a la competitividad). La variable respuesta fue el contenido de curcuminoides y

las variables analizadas fueron frecuencia, potencia, tiempo de extracción, solvente de extracción y relación soluto solvente.

### **Identificación y cuantificación de curcuminoides por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)**

La cuantificación de curcuminoides en las muestras de rizomas del Occidente Antioqueño se realizó por cromatografía líquida de alta eficiencia con un detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD). Se usó un cromatografo liquido Thermo UltiMate™ 3000 que incluye el software Chromeleon 7,2 (Dionex, Thermo Scientific, Estados Unidos), columna C18 (4,6 mm X 250 mm id., 5µm, Thermo Scientific, Estados Unidos). El método se desarrolló realizando modificaciones al descrito por Jayaprakasha (Guddadarangavvanahally K Jayaprakasha, Jagan Mohan Rao, & Sakariah, 2002, 3669), la fase móvil consistió en acetonitrilo (CH<sub>3</sub>CN, A) y ácido acético al 0,1% en agua (B). El volumen de la fase móvil se ajustó a 1,0 ml/min y el volumen de inyección fue de 10 µL. El detector se fijó a 420 nm y la columna se mantuvo a 25 ° C.

La validación del método analítico desarrollado incluyó los parámetros linealidad, límite de detección (LD mg/ml), límite de cuantificación (LD mg/ml), repetibilidad, precisión intermedia y exactitud para los analitos curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina.

La linealidad se evaluó preparando mezclas de soluciones estándares a 7 niveles de concentración (0.2, 0.5, 1, 3, 5, 10, 25 mg/L). El criterio de rango se definió basado en la linealidad del método. El límite de detección (LD) y de cuantificación se halló con el método de la desviación estándar.

$$LD = 2t_{(1-\alpha;v)} * S \quad \text{y} \quad LC = 10 * S$$

Donde

t = t-Student

1- $\alpha$ = probabilidad b

v= Grados de libertad

S = Desviación estándar de las lecturas del blanco matriz (Duffau B., Rojas F., Guerrero I., Roa L., Rodríguez L., Soto M., Aguilera M., 2010, 34).

La repetibilidad y reproducibilidad se determinó enriqueciendo 8 muestras (por nivel) con una mezcla de curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina a una misma concentración a tres niveles. A las muestras se les aplica el procedimiento de extracción y se determina el coeficiente de variación, en cada nivel de trabajo, y esto se repite con dos analistas para luego aplicar la prueba F y determinar si hay diferencias significativas.

Para determinar la exactitud del método, se trabaja a 3 niveles de concentración (2, 6 y 14 mg/L), dopando harina de Curcuma y determinando la concentración obtenida para 8 réplicas (%R).

### **Determinación de la actividad antioxidante – determinación del valor ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)**

El método ORAC se basa en la medición de la degradación de una molécula fluorescente (fluoresceína), esta degradación se da por un proceso oxidativo a partir de radicales peróxilo ( $ROO\cdot$ ) que se forman por la degradación térmica de compuesto diazo AAPH (2,2'-azobis(2-amidino)propano dihidrocloruro), este daño disminuye la fluorescencia de la muestra. La inhibición de este proceso por parte de un compuesto

denominado antioxidante es una medida de su capacidad para reducir la degradación de la fluoresceína. Este método fue adaptado del descrito por Cao y col (Cao, Alessio, & Cutler, 1993).

El experimento se llevó a cabo en un espectrofluorometro Synergy HT (Biotek Instruments Inc, USA) a 37 ° C y a un pH controlado de 7,4 y usando un blanco de muestra en paralelo. La mezcla de muestra (25 µL de dilución de la muestra) y fluoresceína (150 µL de una solución 1 µM) se incubó durante 30 min a 37 ° C. Después, se añadieron 25 µL de una solución 250 mM de AAPH en tampón fosfato (Álvarez et al., 2012). La intensidad de fluorescencia se midió cada 2 min durante 120 min con longitudes de onda de excitación y emisión fijadas en 485 y 520 nm, respectivamente. Los resultados finales se reportaron como micromoles de equivalentes de Trolox por gramo de muestra (µLmol TE / g).

### **Determinación del tiempo óptimo de cosecha de la *Curcuma longa* a través del seguimiento de los parámetros fisicoquímicos.**

El tiempo óptimo de cosecha de la cúrcuma depende de las condiciones ambientales donde se desarrolle el cultivo y de los materiales vegetales usados (Sylvia A Mitchell, 2014, 4). Realizar un seguimiento en la cosecha de cúrcuma permite encontrar variaciones de parámetros de interés presentes en los rizomas. En el caso de la cúrcuma el parámetro de interés son los curcuminoides los cuales no han sido evaluados en varias etapas del proceso, este análisis permite determinar en qué punto hay mayor concentración de estos en el material vegetal.

Las parcelas experimentales usadas en este ensayo fueron las mismas descritas en el numeral 5.1.1.

### **Muestreo de material vegetal**

Se realizó un monitoreo al cultivo en distintas etapas (8 muestreos aleatorio de rizomas de *Curcuma longa* en los tres municipios y de los tres materiales durante todo el periodo del cultivo. El periodo de evaluación fue desde mayo de 2015 a febrero de 2016. La unidad experimental usada fue la planta y todos los rizomas que formaban la planta fueron tomados para análisis. La cantidad de rizomas que formaban la planta fue variable debido a que el muestreo se realizó en distintas etapas del cultivo.

Las muestras se tomaron siguiendo el proceso tradicional de cosecha, el cual se realizó manualmente. Los rizomas se extrajeron con ayuda de una pala levantando los terrones manualmente para no generar daño mecánico a los rizomas, posteriormente se sacude la tierra que queda impregnada a los rizomas.

Posterior al muestreo, los rizomas se sometieron a un proceso de lavado usando agua potable en la cual fueron sumergidos por 15 min posteriormente se realiza una agitación manual en el agua para facilitar la eliminación de tierra. El agua de este primer lavado es descartada y se realiza otro ciclo de lavado, en este segundo ciclo se utilizó un cepillo para eliminar la tierra de los rizomas que aún tenían. Al finalizar este proceso los rizomas fueron almacenados a -20 °C hasta su análisis. En la tabla 1 se indican los días de muestreo. Los días 82, 122, 159, 202, 242, 270, 290 y 310 de cultivo se realizaron los muestreos.

Las muestras tomadas en cada etapa del cultivo siguen los pasos metodológicos 5.1.3, 5.1.4 y 5.1.5 con el fin de determinar el contenido de curcuminoides.

**Determinación de las condiciones que permiten mantener las características fisicoquímicas y microbiológicas óptimas en cada una de las etapas de poscosecha para cumplir con parámetros de calidad internacional.**

Los procesos poscosecha presentan etapas críticas en el procesamiento de productos agrícolas. Estas etapas se realizan desde el momento de cosecha hasta que el producto llega al consumidor.

En la obtención de harina hay etapas poscosecha que son críticas ya que afectan de manera directa la calidad del producto.

Debido a la estabilidad de los curcuminoides una etapa crítica es la desinfección no solo porque debe garantizar la eliminación de la contaminación microbiológica sino porque podría afectar la estabilidad de los curcuminoides es el proceso de desinfección debido a las sustancias que son usadas en dichos procesos.

Una de las etapas más crítica en estos procesos es la de secado debido a que en este se busca disminuir de manera significativa la humedad sin llegar a afectar drásticamente el contenido de metabolitos de interés y evitando posible contaminación microbiológica de la materia prima.

### **Efecto del proceso de desinfección sobre los rizomas de *Curcuma longa***

Para evaluar el efecto del proceso de desinfección de los rizomas sobre el color, el contenido de curcuminoides y la capacidad antioxidante de la *Curcuma longa* se prepararon soluciones de 4 desinfectantes comerciales usados para desinfección de superficies y material vegetal (hipoclorito, desinfex, pentaquat y biodes-ultra) y un

testigo que en este caso fue el agua desionizada y destilada. El proceso de desinfección se realiza posterior a un proceso de lavado de los rizomas para garantizar la eliminación de materia orgánica (tierra y hojas) y objetos extraños que puedan estar presente en los rizomas.

La preparación de las soluciones se realizó de acuerdo a las recomendaciones de uso de cada producto y los rizomas se dejaron sumergidos en dichas soluciones por 15 min. La solución de hipoclorito se preparó al 5% v/v, el pentaquat se preparó al 0.2% v/v, el desinfex se preparó una solución 1% v/v y la solución de biodes-ultra estaba a una concentración 0.5% v/v.

El proceso se simuló usando 200 ml de cada solución desinfectante y usando 10 rizomas de una longitud promedio de 6 cm provenientes del municipio de Uramita. El proceso se realizó por triplicado para cada solución desinfectante y para el control.

Luego de transcurrido el periodo de 15 min se tomaron muestras de rizomas que fueron sometidas a secado en horno a una temperatura de 55°C para el análisis de curcuminoides, lo cual esta descrito anteriormente en los numerales 5.1.3, 5.1.4 y 5.1.5, para análisis de capacidad antioxidante como se describió en el numeral 5.1.6 y para análisis de color como se describe más adelante.

Al finalizar el proceso de desinfección se realizó para el material fresco un análisis microbiológico de *Salmonella*, Coliformes, mesófilos y *Bacillus cirus*. Los análisis se realizaron siguiendo las normas NTC 4574, NTC 4458, NTC 4519, respectivamente.

### **Efecto del proceso de secado sobre los rizomas de *Curcuma longa***

Los rizomas fueron lavados y desinfectados. Antes del secado los rizomas se cortaron en trozos pequeños y se sometieron a secado solar, en horno y en lecho fluidizado. El secado se detuvo cuando la humedad fue inferior al 10% para las tres tecnologías secado en horno (Mettert GmbH), secado solar y secador de lecho fluidizado (Actum).

Para el secado solar el material vegetal se extendió formando una capa uniforme (2 cm de profundidad) sobre una bandeja y esta se somete a radiación solar directa, el material es mezclado de manera manual simulando el proceso de secado que llevan a cabo en el municipio de Uramita. La temperatura promedio y la humedad relativa durante el secado solar fueron de 24°C y 76% respectivamente.

El secado en horno se realizó haciendo uso de bandejas de aluminio con perforaciones circulares sobre las cuales se dispuso en capas uniformes el material vegetal (2 cm de profundidad). La temperatura de secado fue de 50°C.

El secado en lecho fluidizado se realizó a una temperatura de 50°C. Los parámetros que determinan la entrada de aire al equipo fueron fijados a 2400 rpm para el ventilador y los ángulos de las válvulas mariposa fueron de 40° para la de salida, 45° para la de paso y 30° para la de entrada.

### **Efecto de la radiación UV sobre la harina de *Curcuma* usando distintos materiales de empaque**

La interacción que puede darse entre agentes externos como la radiación UV y los productos empacados puede generar reacciones o contaminaciones que afectan la

calidad del producto. Se ha reportado que los curcuminoides presentes en la harina de cúrcuma pueden reaccionar con la radiación UV, este es un factor que adquiere importancia en el proceso de almacenamiento y puesta en anaquel de la harina ya que esta puede quedar expuesta a este tipo de radiación. Para determinar el efecto de la radiación UV sobre la harina de cúrcuma se expuso harina sin material de empaque y harina empacada en tres materiales distintos a la radiación generada por una lámpara UV.

El ensayo se realizó por triplicado usando como material de empaque vidrio, bolsa metalizada y bolsa de polipropileno de baja densidad. Se utilizó un control compuesto por harina sin protección. Para este ensayo se utilizaron cantidades pequeñas de harina (1g) de tal manera que el material empacado formó una fina lámina de harina dentro del empaque (2mm de ancho). Estas capas delgadas de harina recibían radiación de lámpara UV (radiación en el rango de 200 a 315 nm).

Las muestras se sometieron a radiación por 9 horas y se realizaron muestreos de seguimiento para analizar el contenido de curcuminoides y capacidad antioxidante de acuerdo a la metodología descrita en los numerales 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5 y 5.1.

### **Análisis de Color**

El análisis de color de las harinas de cúrcuma se determinó con un NANOCOLOR UV / VIS Macherey - Nagel estableciendo los parámetros D65 y un ángulo de observación de 10 °. El espacio de color CIELAB se utilizó para determinar los parámetros: L \* [negro (0) al blanco (100)], a \* [verde (-) al rojo (+)] y b \* [azul (-) al amarillo (+)].

Para esto se prepararon soluciones tomando 25 mg de harina (procesada) y se adicionaron 50 ml de etanol usando una celda de cuarzo para la lectura.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Graph Pad Prism 5 (GraphPad Software, Inc. Estados Unidos) y Statgraphics Centurion XVII (Statpoint Technologies, Inc. Estados Unidos). Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con el fin de realizar el test de diferencias significativas, posteriormente los resultados se sometieron al pos-test de Tukey. Adicionalmente un análisis de varianza ANOVA de dos factores (multifactorial) fue realizado para estudiar simultáneamente los efectos de dos fuentes de variación, seguido del pos-test Bonferroni. Los valores se consideraron significativas para un valor  $P < 0,05$ .

## Resultados

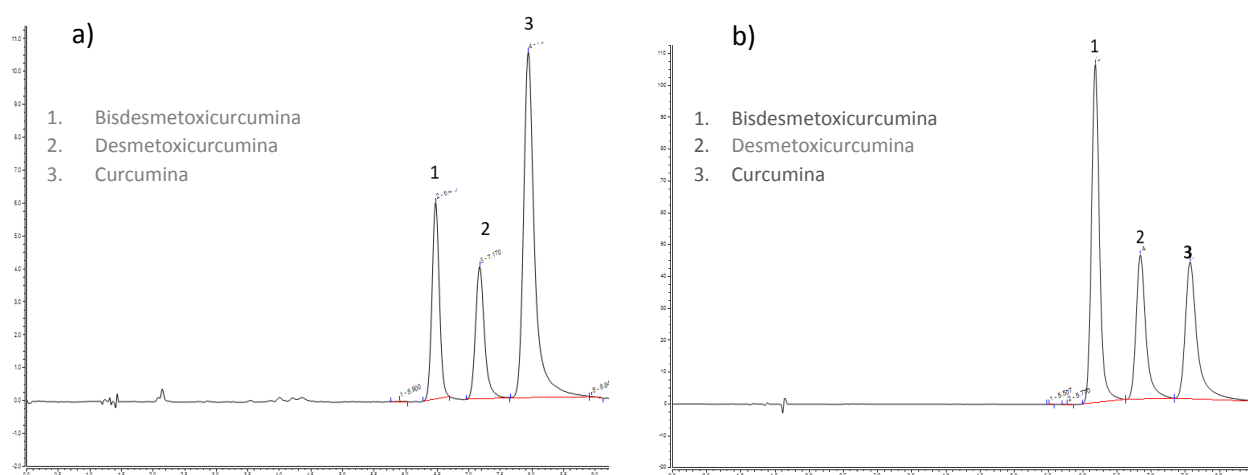
### **Evaluación mediante parámetros de calidad de diferentes materiales de *Curcuma longa* cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño.**

#### **Validación método analítico**

El diseño de un procedimiento analítico depende del interés del análisis. Cuando se tienen matrices complejas como un material vegetal, en este caso harina de cúrcuma se prefiere la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) por la diversidad de compuestos químicos presentes. Al desarrollar un método analítico por HPLC se tienen ventajas respecto a otras técnicas, como su alta resolución, eficiencia, alta reproducibilidad y tiempos de análisis relativamente cortos (Guddadarangavvanahally K Jayaprakasha et al., 2002, 3669).

En el desarrollo del método analítico para la cuantificación de curcuminoides en rizomas de *Curcuma longa* se realizó primero el corrido de una solución de mezcla de estándares para evaluar la separación de los tres analitos de interés. Con esto se cumplía el objetivo de verificar la separación de estos tres picos. Debido a que la harina tiene un gran contenido de compuestos químicos que pueden ser extraídos junto con los curcuminoides se debe garantizar que estos no tendrán un efecto sobre la separación de los picos correspondientes a la curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina por ello se realizó un corrido de un extracto de harina de cúrcuma obtenido por extracción con ultrasonido. Se encontró una buena separación y resolución para los tres curcuminoides, tanto para la mezcla de estándares de curcuminoides como para el extracto. De esta manera se garantizó que otros

compuestos químicos presentes en la matriz no afectan la separación de las señales con las condiciones del método analítico, esto se muestra en la figura 7 donde la señal 1 corresponde a la bisdesmetoxicurcumina, la 2 a la desmetoxicurcumina y la 3 a la curcumina.



**Figura 7.** Separación cromatografica de bisdesmetoxicurcumina (1), desmetoxicurcumina (2) y curcumina (3) en a) un mezcla de estándares de curcuminoides y b) extracto etanolico del material vegetal.

El éxito del desarrollo de un método analítico está altamente influenciado por el tratamiento de la muestra. Uno de los primeros pasos es la homogenización de la muestra la cual se logra por un proceso de molienda. Posterior a esto el paso crítico pasa a ser la extracción. Existen distintos métodos de extracción sobre material vegetal, están los métodos de extracción convencionales soxhlet y percolación. El soxhlet es muy usado por los altos rendimientos (Luque de Castro & García-Ayuso, 1998), sin embargo tiene la desventaja de que requiere llegar a la temperatura de ebullición del solvente y muchas sustancias pueden degradarse a esa temperatura.

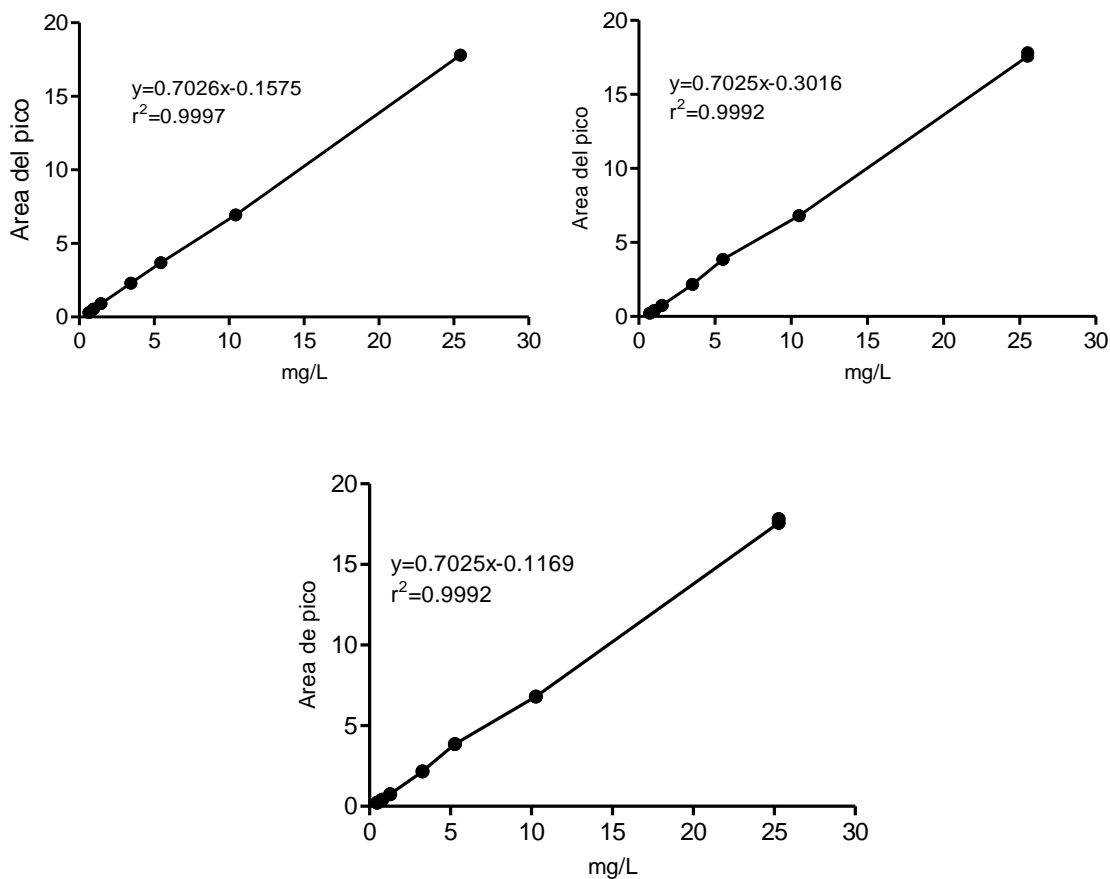
En la actualidad técnicas de extracción asistidas por ultrasonido, microondas y fluidos supercríticos han incrementado su uso, esto buscando obtener rendimientos altos en periodos de tiempos más cortos y evitando la degradación de los compuestos de interés (Wakte et al., 2011, 51).

Para la extracción de curcuminoides en rizomas de *Curcuma longa* se utilizó la extracción por ultrasonido la cual resulta ser más eficiente que tecnologías como soxhlet o extracción convencional por agitación. Como se mencionó en la metodología, se toma este resultado de un proyecto previo desarrollado en el grupo GRIAL (proyecto Colciencias titulado “Desarrollo de una plataforma tecnológica para la extracción piloto de colorantes naturales - Etapa I: curcumina, una estrategia de sostenibilidad, una apuesta a la competitividad”). Las muestras fueron sometidas a un proceso de desengrase con hexano debido al alto contenido de aceites que contiene (Govindarajan & Stahl, 2009, 212) los cuales pueden afectar el desarrollo del método analítico. El solvente de extracción usado fue el etanol debido a que en este los tres curcuminoides presentan alta solubilidad, es menos tóxico que otro tipo de solventes como la acetona y diclorometano y es de fácil adquisición.

La linealidad del método analítico se verificó en un rango de concentraciones de 0.22 y 25 mg/L para la bisdemetoxicurcumina, desmetoxicurcumina y curcumina.

Los límites de detección (LD) y de cuantificación fueron 0.1251 mg/L y 0.4526 mg/L para curcumina, 0.05354 mg/L y 0.1832 mg/L para la desmetoxicurcumina y 0.04078 mg/L y 0.1354 mg/L para las bisdesmetoxicurcumina. Se obtuvieron bajos niveles para el límite de cuantificación para los tres curcuminoides indicando que el método es sensible para la cuantificación de curcuminoides. En la figura 8 se muestran

las curvas de calibración para la curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina.



**Figura 8.** Curva de calibración y linealidad de a) curcumina, b) desmetoxicurcumina y c) bisdesmetoxicurcumina.

En la tabla 2 se reportan los parámetros de validación obtenidos para los tres compuestos. El coeficiente de variación para la precisión fue  $<10\%$ , el porcentaje de recuperación de las muestras enriquecidas en los 3 niveles cumplió con el criterio de aceptación de encontrarse entre el 80 y 110% (Duffau B., Rojas F., Guerrero I., Roa L., Rodríguez L., Soto M., Aguilera M., 2010, 43).

**Tabla 2.** Parámetros de validación del método analítico para la cuantificación de curcuminoides

		Curcumina	Desmetoxicurcumina	Bisdesmetoxicurcumina
Linealidad	Ecuación curva $r^2$	$Y = 0.6989 - 0.2118$ 0,9998	$Y = 0.7025 - 0.3016$ 0,9992	$Y = 0.7025x - 0.1169$ 0,9995
Rango (mg/L)		0,2 – 25	0,2 – 25	0,2 – 25
LD		0.125	0.053	0.041
LC		0.453	0.183	0.135
Precisión (%CV)	Precisión intermedia	4	2.5	2.4
Exactitud	% R	90.7 – 94.3	90.1 – 99.3	100-105

El efecto de la matriz se determina como significativo si el porcentaje de efecto de matriz es mayor 15 o a -15%. Para la curcumina y desmetoxicurcumina el % del efecto matriz se encuentra entre -15 y 15% por lo que se puede hacer uso de la curva en matriz o curva en solvente. Para la bisdesmetoxicurcumina el efecto matriz si es importante ya que tuvo un % de -21.4, por esta razón la curva de que debe ser usada corresponde a la realizada con la matriz.

Con estos resultados se garantiza que el método analítico desarrollado cumple con los criterios de aceptación que garantizan la calidad la veracidad de los resultados.

### **Evaluación materiales de Curcuma longa**

Los municipios del occidente antioqueño Uramita, Cañasgordas y Sopetrán presentan condiciones agroclimáticas adecuadas para el cultivo de cúrcuma, presentan temperaturas del orden de 24 a 28°C donde es óptimo el cultivo de cúrcuma, este

puede estar a temperaturas mínimas alrededor de 18°C (A. Hossain & Ishimine, 2005, 86).

La caracterización de las muestras usadas como material de propagación se realiza analizando como parámetro de calidad el contenido de curcuminoides por HPLC tabla 3. Posteriormente se analiza el rendimiento y calidad de los rizomas en términos de contenido de curcuminoides en la etapa de cosecha de los tres materiales.

**Tabla 3.** Contenido de curcuminoides en rizomas de *Curcuma longa* usados como semilla

Material	% Curcuminoides
Local	3.8 ± 0.1
Putumayo	3.5 ± 0.1
India	5.7 ± 0.2

El contenido de curcuminoides en los tres materiales usados como material de propagación varió, siendo el material de la India significativamente diferente al Local y Putumayo. Estas diferencias se puede atribuir al origen de los materiales ya que se desarrollaron en condiciones agroclimáticas diferentes. El ambiente es un factor que también afecta la acumulación de metabolitos secundarios sin embargo la cuantificación de curcuminoides en el material de la India fue mayor a los otros materiales. Se ha reportado que el contenido de curcuminoides del material de la India se puede ver favorecido por las condiciones ambientales en las que crece (Anandaraj et al., 2014, 363).

Las características físicas y químicas de la cúrcuma difieren de región a región y las preferencias hacia el origen y las propiedades fisicoquímicas son expresadas por

los usuarios para ciertas aplicaciones (P. N. Ravindran, K. Nirmal Babu, 2007, 50). La forma de los rizomas del material Putumayo, Local e India es similar como se observa en la figura 9, el largo y ancho de estos son parecidos. La coloración de los rizomas es diferente para los tres materiales de propagación lo que es asociado al contenido de curcuminoides.



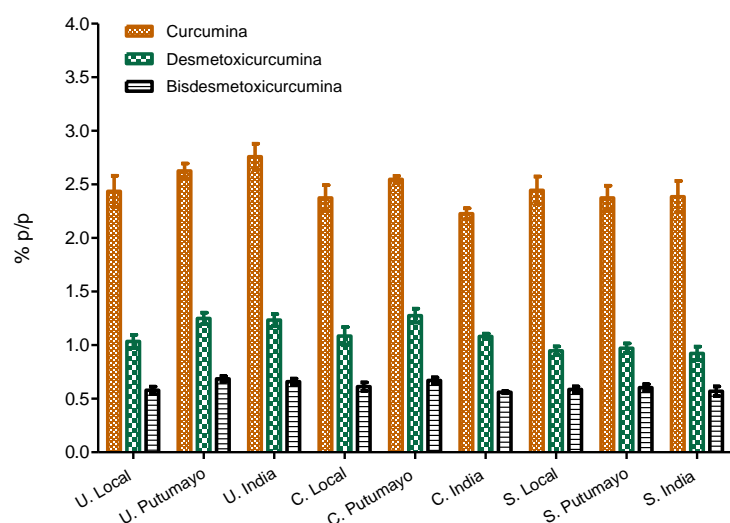
**Figura 9.** Rizomas materiales de propagación. a) Local; b) Putumayo; c) India

La evaluación de parámetros productivos y de rendimiento en términos de contenido de curcuminoides y oleorresina (parámetros de importancia asociados al uso del producto) de materiales de cúrcuma en diferentes regiones podrían permitir hacer una selección de acuerdo a resultados obtenidos. Esta evaluación identifica los materiales que mejor se adapten a cada zona de ensayo de acuerdo a las respuestas elegidas.

La evaluación de los materiales de propagación se realizó en diversas etapas del cultivo siendo la cosecha la etapa a resaltar, donde se evaluó el contenido de los curcuminoides, la capacidad antioxidante y el rendimiento de producción de rizomas.

Los curcuminoides evaluados fueron curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina para los tres materiales sembrados en las localidades Uramita

(U), Cañasgordas (C) y Sopetran (S). En la figura 10 se muestra el contenido de curcuminoides individuales para todos los materiales en la etapa de cosecha. Se encuentra que en todos los materiales el porcentaje de curcumina fue alrededor del 70% de los curcuminoides, 25% y 15% de desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina respectivamente, valores similares a los reportados para la cúrcuma comercial (Li Shiyu, Yuan Wei, Deng Guangrui, Wang ping, Yang Paiying, 2011, 30).

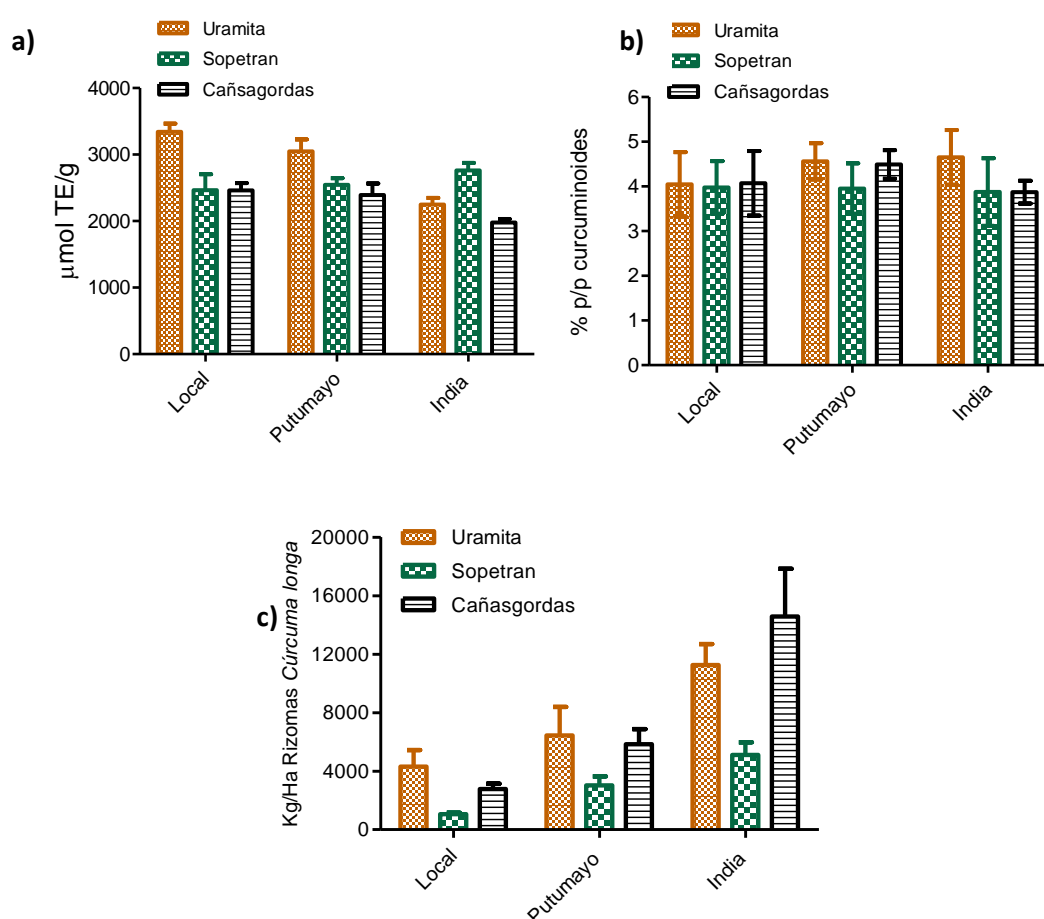


**Figura 10.** Concentración de curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina (%p/p) en la etapa de cosecha para los materiales denominados local, Putumayo e India de *Curcuma longa* cultivados en las localidades Uramita (U), Cañasgordas (C) y Sopetran (S).

Luego de realizar el análisis ANOVA para el resultado del contenido de curcuminoides en los rizomas de *Curcuma longa* en la etapa de cosecha se encuentra que el material vegetal no tuvo un efecto significativo sobre el contenido de curcuminoides. En la literatura se han reportado efectos significativos de la variedad de *Curcuma longa* cultivada y de las condiciones ambientales en el contenido de

curcuminoides (Anandaraj et al., 2014, 363). En este caso los tres materiales tuvieron un comportamiento similar sin embargo la localidad si tuvo un efecto significativo sobre el contenido de curcuminoides.

Los resultados de capacidad antioxidante determinados por el método ORAC, el contenido de curcuminoides totales y el rendimiento del cultivo expresados como Kg/Ha de rizomas de cúrcuma se muestran en la figura 11.



**Figura 11.** Parámetros de calidad evaluados en etapa de cosecha en tres materiales de *Curcuma longa* cultivados en tres las localidad Uramita, Sopetrán y Cañasgordas. a) Capacidad antioxidante (ORAC); b) % p/p curcuminoides totales; c) rendimiento de producción Kg/Ha de rizomas.

Todas las muestras analizadas presentaron una capacidad antioxidante superior a 2000  $\mu\text{mol TE/g}$ , de acuerdo al método de medición utilizado todas los materiales son productos con capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante es estadísticamente diferente entre las muestras analizadas, luego de realizar el análisis estadístico se encontró que el material vegetal usado y la localidad tienen un efecto altamente significativo en este parámetro de calidad como se verifica en la tabla 4. El material con mayor capacidad antioxidante es el denominado Local-Uramita con 3342  $\mu\text{mol TE/g}$ , este valor supera los reportados para la planta de cúrcuma (Haytowitz & Bhagwat, 2010, 13).

**Tabla 4.** Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) de 4 materiales de curcuma cultivados en tres localidades.

	<b>Uramita</b>	<b>Sopetran</b>	<b>Cañasgordas</b>
<b>Local</b>	3342.1 $\pm$ 373.2 <sup>ad</sup>	2464.1 $\pm$ 724.9 <sup>a</sup>	2461.0 $\pm$ 334.2 <sup>d</sup>
<b>Putumayo</b>	3017.6 $\pm$ 537.9 <sup>be</sup>	2544.2 $\pm$ 302.5 <sup>b</sup>	2393.1 $\pm$ 510.6 <sup>e</sup>
<b>India</b>	2248.5 $\pm$ 278.6 <sup>c</sup>	2760.1 $\pm$ 343.2 <sup>cf</sup>	1979.8 $\pm$ 156.7 <sup>cf</sup>

Letra común en la misma fila indica que son significativamente diferente  $P \leq 0,05$ .

La capacidad antioxidante en la cúrcuma no solo se debe a la presencia de curcuminoides, los diversos compuestos fenólicos presentes en la cúrcuma también actúan como sustancias antioxidantes. Adicional a los curcuminoides se han reportado otros 19 compuestos diarilheptanoides y 4 compuestos fenilpropenoides. En la composición química de la cúrcuma también se reporta la presencia de terpenos en los

que se incluyen monoterpenos y sesquiterpenos principalmente. Se han reportado más de 170 compuestos terpenoides en la cúrcuma (Li Shiyou, Yuan Wei, Deng Guangrui, Wang ping, Yang Paiying, 2011, 33), el contenido de estos también se ve influenciado por condiciones medioambientales por lo que las concentraciones de estos pueden variar afectando la capacidad antioxidante del material vegetal ya que se ha reportado que estas sustancias actúan como antioxidantes (González-Burgos & Gómez-Serranillos, 2012, 5319); es decir la capacidad antioxidante determinada para la cúrcuma se debe a la presencia de diversos metabolitos secundarios aunque los curcuminoides se encuentran en mayor concentración.

El material con mayor capacidad antioxidante por localidad fue local en Uramita, India en Sopetran y Local y Putumayo en Cañasgordas.

El rendimiento es uno de los parámetros más importantes en los cultivos, la identificación de un material que genere un mayor rendimiento en un cultivo representa una gran importancia agronómica (P. N. Ravindran, K. Nirmal Babu, 2007, 30). El rendimiento de las parcelas demostrativas del occidente antioqueño no fue uniforme, el material de la India presentó el mayor rendimiento en las tres localidades a diferencia del material local que presentó el menor rendimiento en todas las parcelas evaluadas.

Se ha mencionado en diversos trabajos que los materiales pueden adaptarse de manera diferente a diversas condiciones ambientales (Anandaraj et al., 2014, 363)(Sasikumar, 2005, 231) motivo por el que se dan estas variaciones, el material India presentó una mejor respuesta a las condiciones ambientales en las zonas donde fue cultivada en términos de rendimiento.

El tipo de material tuvo un efecto muy significativo ( $P = 0.002$ ) y la localidad tuvo un efecto extremadamente significativo ( $P < 0.0001$ ) en el rendimiento. La interacción entre el material y la localidad no fue significativa en el rendimiento de producción como se evidencia en la tabla 5.

**Tabla 5.** Interacción entre los factores localidad y material de siembra (analizando rendimiento de producción de rizomas)

	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Aporte % varianza total</b>
<b>Material de siembra</b>	20,26	<0,0001	47,96
<b>Localidad</b>	8,97	0,0020	21,23
<b>Interacción</b>	2.01	0.1366	9.50

El material de la India a pesar de ser un material introducido registró el mayor rendimiento de producción lo que indica un buen proceso de adaptación a la zona de cultivo. El material local, el cual ha sido tradicionalmente cultivado en el municipio de Uramita y del cual se esperaba una mejor adaptación a las condiciones presento un menor rendimiento. Esto hecho se puede asociar a la semilla utilizada en el proceso de propagación. Se ha reportado que los rendimientos de producción en cultivos de cúrcuma fueron mayores cuando se usó como semilla los rizomas madres y menor para los rizomas hijos. Lo que implica que los rizomas hijos deben ser removidos de los rizomas madre para usar estos últimos como semilla (Md. Amzad Hossain, Ishimine, Akamine, & Motomura, 2005, 93). El criterio de selección de la semilla para el material local se basó en el peso y el diámetro de la semilla que son criterios para la selección de semillas de buena calidad de cúrcuma sin embargo no se realizó una

diferenciación entre rizomas madre e hijos lo que pudo afectar el rendimiento del cultivo según lo reportado por Hossain.

En términos de las localidades las parcela cultivada en Cañasgordas presentan los rendimientos globales más altos, donde el material de la India produce 14583 Kg/Ha comparados con 2777 Kg/Ha del material local. El 63% del rendimiento total de los rizomas obtenidos en Cañasgordas se debe al material de la India. El material putumayo presento el segundo mejor rendimiento, de hecho no hubo diferencia significativa de este con el de la India en las localidades de Uramita y Sopetran, aunque el material de la India presenta un mejor rendimiento, ver tabla 6.

**Tabla 6.** Rendimiento (Kg de rizoma) de 3 materiales de Curcuma cultivados en tres localidades

	<b>Local</b>	<b>India</b>	<b>Putumayo</b>
Uramita	4305,5	1061,1	2777,8
Cañasgordas	6444,5	3027,8	5833,3
Sopetran	11250,0	5111,3	14583,3

Letra común en la misma columna y fila indica que son significativamente diferente  $P \leq 0,05$ .

Dentro de las condiciones agroecológicas que pueden influir en la respuesta de un cultivo están las características fisicoquímicas de los suelos. De acuerdo al estudio de suelo realizado previo a la siembra reportada en la metodología en el ítem 5.1.1.1 las características de los suelos difieren en el contenido de algunos micros y macronutrientes, y en el contenido de la materia orgánica.

En estudios realizados en India se reporta que el rendimiento del cultivo de cúrcuma aumenta significativamente con aplicación de diversas fuentes de abono orgánico respecto al cultivo control. Se indicó que no sólo produce rendimientos más

altos sino que también mejoró la fertilidad del suelo y la productividad (Sanwal & Laxminarayana, 2007, 445). Esto coincide con lo registrado por Gaura y col, que indicaron que la aplicación de abono registro rendimientos significativamente más altos (Gaura, Rajshree, Kamlesh, & Namdeo, 2012, 248).

Con lo reportado en los análisis de suelos y los resultados de los rendimientos del cultivo de cúrcuma en un ciclo de cultivo se encuentra que existe una relación entre las sustancias orgánicas presentes en el suelo y el rendimiento del cultivo. El contenido de materia orgánica en los suelos fue mayor para Cañasgordas, seguido de Uramita y Sopetrán. La localidad que presentó el menor rendimiento fue Sopetrán. Se encuentra con estos resultados que hay una relación entre la productividad del cultivo y el contenido de materia orgánica de los suelos; a mayor materia orgánica mayor productividad.

Respecto a los compuestos y características del suelo no se han logrado llegar a conclusiones específicas respecto a contenido de minerales, en un estudio realizado con tres suelos diferentes (tierra de color rojo oscuro (pH 5,2), el suelo gris (pH 7,4) y el suelo rojo (pH 4,4)) donde evaluaron el crecimiento, rendimiento y calidad de la cúrcuma (*Curcuma longa*) determinan que el pH influye en el cultivo al encontrar mejores rendimientos para suelo rojo con un pH de 5,2 y con concentración de minerales (mg/g) de 30.5 Na; 6.4 K, 24.9 Ca; 5.4 Mg y 0.51 P (A. Hossain & Ishimine, 2005, 152) con lo que resaltan el efecto del pH pero no encuentran ninguna relación clara entre el contenido de minerales en el suelo y el rendimiento y contenido de cúrcuma.

El resultado de la evaluación mediante los parámetros rendimiento, capacidad antioxidante y concentración de curcuminoides de diferentes materiales de *Curcuma longa* cultivadas en parcelas demostrativas del Occidente antioqueño indica que el material de la India fue el que mejor se adaptó a las condiciones ambientales con un rendimiento de producción mayor, un contenido de curcuminoides similar a los materiales nacionales y un capacidad antioxidante significativamente más baja que los materiales nacionales, sin embargo sigue presentando un valor más alto que los reportados en la literatura. La localidad en la que mejor rendimiento se obtuvo fue Cañargordas.

Como se ha mencionado existen diferencias entre las localidades, determinar qué aspectos caracterizan a cada localidad para la producción de cúrcuma analizando todas las variables (14 variables) medidas en el estudio puede resultar poco eficiente. De hecho, puede haber algunas variables que aporten más información que otras, y por esto resulta útil realizar un análisis de componentes principales para elegir los parámetros que son más importantes.

En la tabla 7 se muestra el resultado del análisis de componentes principales y los aportes de su varianza a la varianza total (peso de los componentes). Las dos primeras componentes principales aportan el 100% de la información.

En la componente 1 las variables curcuminoides totales, capacidad antioxidante, pH, contenido de Ca, P, Mn, Cu y Zn tienen pesos similares. Para la componente 2, las variables que tienen mayor peso son la materia orgánica, rendimiento y el contenido de K (+) y B(-).

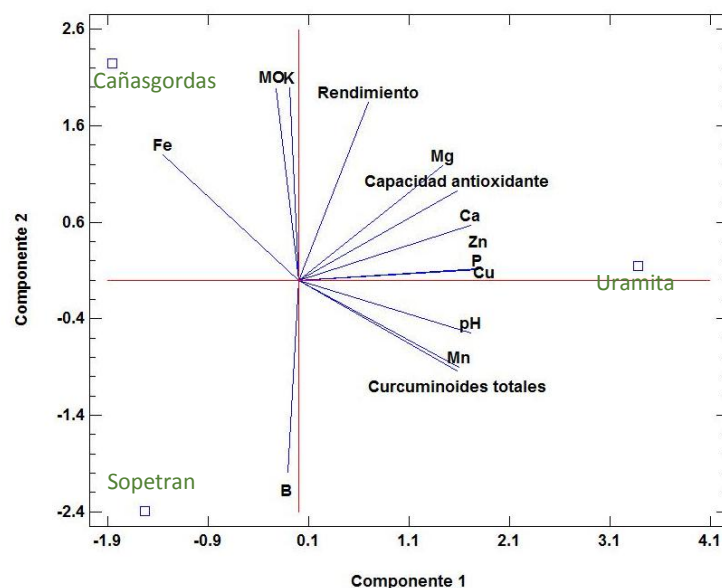
Los aspectos que caracterizan la producción de cúrcuma son diversos, lo que genera diferencias marcadas entre las localidades analizadas debido a la magnitud de los parámetros que caracterizan cada localidad.

**Tabla 7.** Tabla de análisis de componentes principales y de los pesos de los componentes

<i>Componentes principales</i>				<i>Pesos de los componentes</i>		
<i>Componente #</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Porcentaje de Varianza</i>	<i>Porcentaje Acumulado</i>		<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>
1	8.58664	61.333	61.33	Curcuminoides	0.301	-0.202
2	5.41336	38.667	100.00	Cap. antioxidante	0.302	0.120
3	6.15685E-16	0.000	100.00	Rendimiento	0.132	0.396
4	4.51689E-16	0.000	100.00	pH	0.328	-0.118
5	3.04007E-16	0.000	100.00	K	-0.017	0.429
6	1.55884E-16	0.000	100.00	Mg	0.274	0.255
7	1.49028E-16	0.000	100.00	Ca	0.327	0.122
8	0.0	0.000	100.00	P	0.341	0.026
9	0.0	0.000	100.00	Mn	0.304	-0.194
10	0.0	0.000	100.00	Fe	-0.258	0.280
11	0.0	0.000	100.00	B	-0.020	-0.429
12	0.0	0.000	100.00	Cu	0.340	0.024
13	0.0	0.000	100.00	Zn	0.340	0.024
14	0.0	0.000	100.00	MO	-0.043	0.426

En la figura 12 se muestra la ubicación de las tres localidades en un gráfico bidimensional de las dos componentes principales. Éstas podrían ser diferenciadas, de acuerdo a los valores de las componentes, la finca el Limón ubicada en Uramita fue la localidad con mayor valor del componente 1 en el cual tienen alto peso las variables cantidad de curcuminoides, capacidad antioxidante y los minerales Ca, P, Mn, Cu y Zn presentes en el suelo antes del proceso de siembra. Los micronutrientes que tienen peso en la componente 1 pueden influir en la formación de los curcuminoides ya que estos se forman a partir de una ruta metabólica derivada del Shikimato y los minerales

como el Ca, Mn, Cu y Zn son cofactores de enzimas que participan en esta ruta metabólica. Se ha reportado que la DAHP sintasa requiere de cofactores, que son iones metálicos para funcionar correctamente, dentro de estos iones se encuentran los mencionados anteriormente (Herrmann, 1995, 909), la DAHP sintasa es la primera enzima que interviene en esta ruta metabólica y controla la cantidad de carbono que entra en la vía, por lo que una afectación en su funcionamiento afecta toda la ruta, desde el inicio reflejándose en los productos finales. Se ha reportado en algunos trabajos que el contenido de cobre afecta la shikimato deshidrogenasa (Kováčik, Klejdus, Hedbavny, Štork, & Bačkor, 2009, 239), la actividad de esta enzima también puede afectar la formación final de los curcuminoides. Respecto a las otras dos localidades, Uramita se encuentra en un valor intermedio de las componentes dos en la que las variables que aportan mayor peso son el rendimiento, la materia orgánica y el potasio. Las localidades Cañasgordas y Sopetrán presentan un menor valor del componente 1 influenciado en este caso por los contenidos de minerales. La localidad Cañasgordas se encuentra diferenciada como la localidad con el más alto rendimiento y mayor cantidad de materia orgánica tal como se muestra en la parte superior izquierda de la figura. En contraste, Sopetrán es la que presenta el menor rendimiento y contenido de materia orgánica, confirmando los resultados de la tabla 7.



**Figura 12.** Análisis de componentes principales para el cultivo de *Curcuma longa* en tres diferentes localidades.

### **Determinación del tiempo óptimo de cosecha de la *Curcuma longa* a través de un seguimiento de los parámetros fisicoquímicos.**

El conocimiento del tiempo que debe transcurrir entre la siembra de un cultivo y su cosecha es de gran importancia, permite mejorar los rendimientos y los usos de los suelos y la calidad de los productos. Se conoce que el tiempo de cosecha es un factor muy importante para determinar la calidad de los productos agrícolas (Lo Scalzo, Bianchi, Genna, & Summa, 2007). El rendimiento de cosecha y la reducción de incidencia de enfermedades de una especie vegetal se ven beneficiadas con la óptima determinación del punto de cosecha (Mohammad Amzad Hossain, 2010, 100).

Adicionalmente el tiempo de cosecha puede influir en el contenido de algunos metabolitos secundarios; se ha reportado para algunas hortalizas que el contenido de fenoles se relaciona con el índice de maduración de la fruta (Pincemail, Kevers, Tabart, Defraigne, & Dommès, 2012, 6275).

Los cultivos de cúrcuma en Colombia no han sido estudiados, el proceso de cosecha se realiza generalmente cuando el follaje se seca en totalidad. Se ha reportado que el cultivo de cúrcuma en India toma entre 7 y 9 meses, esto depende de la variedad cultivada. En la madurez las hojas se secan y adquieren un color amarillo y marrón debido a la luz. El análisis realizado al tiempo de cosecha de la cúrcuma ha estado asociado básicamente a la apariencia del follaje

Sin embargo determinar las etapas fenológicas del cultivo es importante; dentro de las etapas importantes en el crecimiento de la cúrcuma se encuentran la germinación, la formación de rizomas, el aumento de volumen y la madurez de los rizomas. Para este cultivo, como se ha mencionado, anteriormente no se había realizado un análisis de la formación de los rizomas y el contenido de metabolitos secundarios en estos, las observaciones reportadas se basaban principalmente en la apariencia de las hojas.

El contenido de curcuminoides genera la coloración característica a los rizomas y le otorga diversas características nutraceuticas a los productos obtenidos a partir de los rizomas, motivo por el que se tomaron como variable de respuesta para determinar el punto tiempo óptimo de cosecha. Se realizó un monitoreo del contenido de curcuminoides en diferentes etapas del cultivo con el fin de determinar cómo variaba su concentración en los rizomas durante el proceso de crecimiento de la planta en las tres localidades.

Los resultados del seguimiento realizado indican que la etapa de la formación de rizomas inicia posterior a los 82 días donde no se observó aun presencia de rizomas nuevos solo se encontraba presencia de rizomas usados como material de propagación (rizomas viejos), el proceso de germinación de las plantas ya había ocurrido a los 82

días. En el monitoreo realizado a los 122 días de siembra había presencia de rizomas nuevos, es decir rizomas hijos de los usados en la propagación y rizomas usados como semilla (viejos), en la figura 9 se observa la evolución de los rizomas durante las etapas de crecimiento, los rizomas inician el proceso de formación en los primeros 120 días (figura 13a) y luego inicia una etapa de crecimiento donde aumentan su masa y contenido de curcuminoides (coloración amarilla) hasta llegar a los rizomas definidos y característicos de la cúrcuma (figura 13 b-e).

Se identificaron y cuantificaron los contenidos de curcumina, desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina para los tres materiales sembrados en las tres localidades durante 8 etapas de crecimiento.

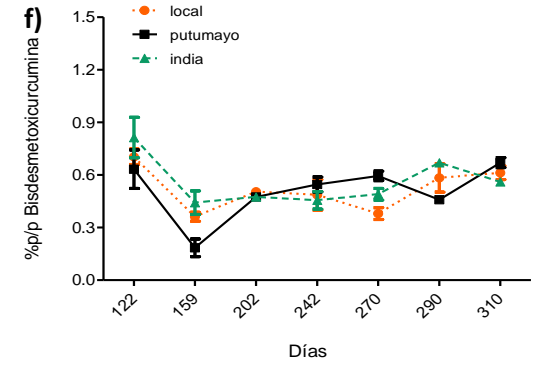
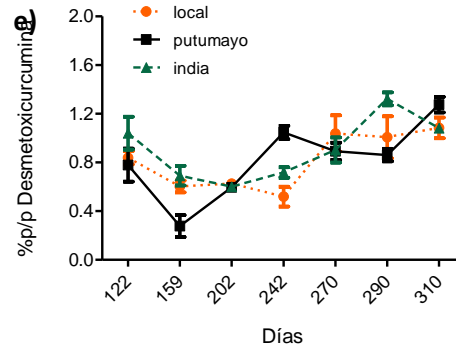
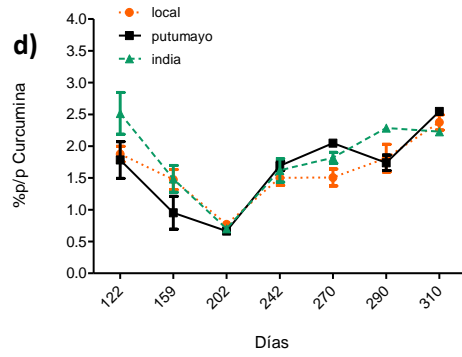
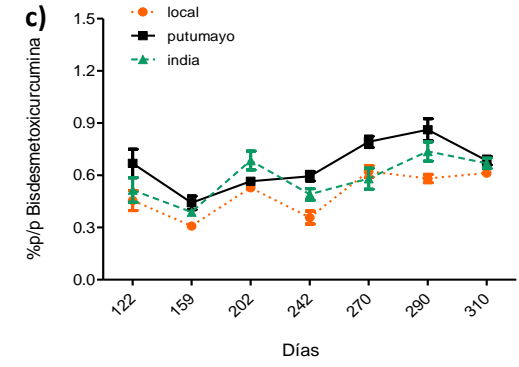
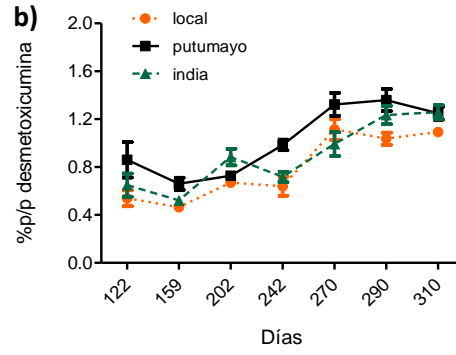
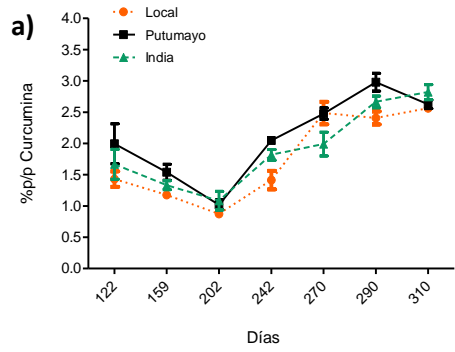


**Figura 13.** Etapas de crecimiento de rizomas de *curcuma longa* cultivados en parcelas del occidente antioqueño. a) Iniciación de la formación de rizomas nuevos (hijos) acompañado de un rizoma usado como material de propagación. b) rizomas obtenidos

en el monitoreo del día 122. C) rizomas obtenidos en el monitoreo del día 159. d) rizoma correspondientes al monitoreo del día 242. e) rizomas en la etapa de cosecha.

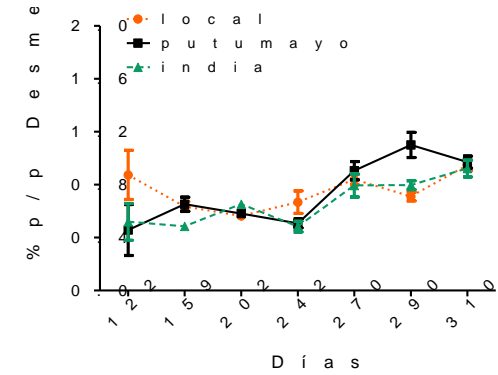
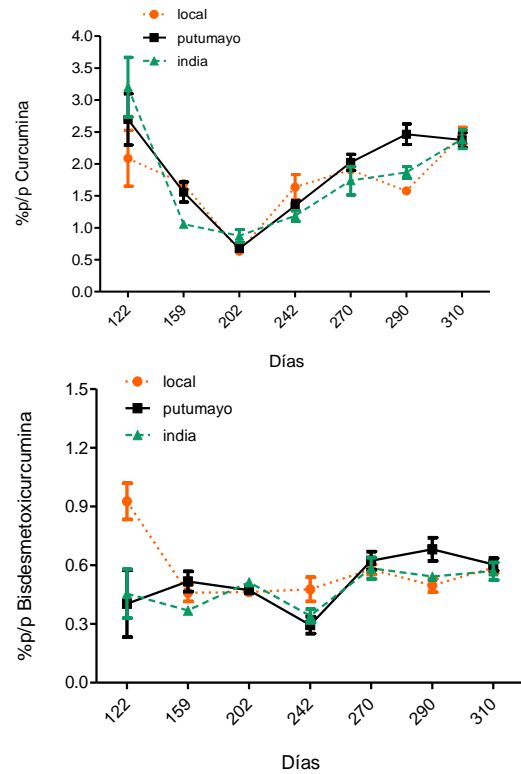
El contenido de los tres curcuminoides determinados en distintas etapas del cultivo para la localidad de Uramita, Cañasgordas y Sopetran se encuentran en las figura 12. El curcuminoides en mayor concentración en todas las etapas del cultivo fue la curcumina, alrededor del 60% de lo curcuminoides totales, seguido de la desmetoxicurcumina (25%) y la bisdesmetoxicurcumina (15%). Este comportamiento es similar para las tres localidades, excepto para el día 202 de cosecha donde el contenido de curcumina es en promedio de un 40% de los curcuminoides, la desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina un 35 y 25 % respectivamente, esta etapa fue la única que presentó diferencias entre las proporciones de los curcuminoides, las concentraciones de estos variaron de forma similar en todos los materiales y en las tres localidades, por lo que podría plantearse que no es un comportamiento generado por las condiciones agroecológicas de cada zona de cultivo. Las tendencias indican que en la primeras tres etapas del cultivo hay una disminución del contenido de curcumina en los rizomas (figura 14), esto se debe a la formación del rizoma. En la primera etapa los rizomas tienen un tamaño pequeño, apenas esta iniciado la etapa de crecimiento; para el análisis de laboratorio se toma el rizoma que se ha formado y que en esa primera etapa tiene una coloración amarilla homogénea, para la segunda y tercera etapa los rizomas aumentan un poco en tamaño y en la zona de crecimiento presentan coloración amarilla, pero en la zona del meristemo apical esta coloración disminuye hasta desaparecer la tonalidad amarilla (figura 14 a,b,c). En las primeras etapas este efecto es mucho más significativo debido a que la zona pilífera y

de crecimiento son más cortas que en las otras etapas, esto puede reflejarse como una disminución del contenido de curcuminoides, ya que todo el rizoma es secado y molido para su análisis a diferencia de la primera etapa, donde el rizoma formado es muy pequeño pero tiene coloración más homogénea respecto al rizoma de la segunda y tercera etapa. Este comportamiento es similar para la desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina hasta el segundo tiempo de evaluación. A partir de la tercera etapa de evaluación, la tendencia indica un aumento en el contenido de la curcumina en todos los materiales y las tres localidades; la concentración de la desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina aumenta con el tiempo de cosecha.



**g)**

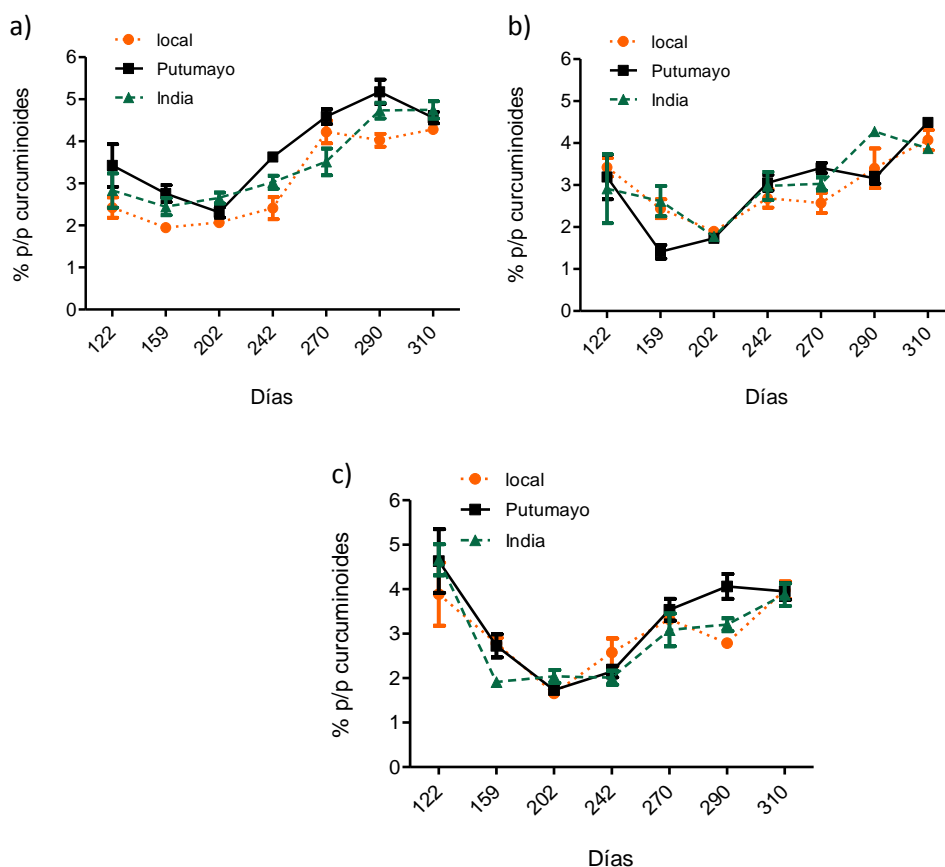
**h)**



**Figura 14.** Variación del contenido de contenido de curcuminoides en los rizomas durante el cultivo a) % p/p curcumina vs etapa de cultivo (días) - Uramita. b) % p/p desmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) - Uramita. c) % p/p bisdesmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) – Uramita. d) % p/p curcumina vs etapa de cultivo (días) – Cañasgordas. e) % p/p desmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) – Cañasgordas. f) % p/p bisdesmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) – Cañasgordas. g) % p/p curcumina vs etapa de cultivo (días) – Sopetran. h) % p/p desmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) - Sopetran. i) % p/p bisdesmetoxicurcumina vs etapa de cultivo (días) – Sopetran.

La concentración de los curcuminoides totales durante las etapas analizadas del cultivo se muestra en la figura 15. Debido a que el contenido de curcumina es más alto la tendencia que se observa es igual a la que presentaba la curcumina.

Al realizar un ANOVA multivariado, se encuentra que el tiempo de cosecha y en menor medida la localidad tiene un efecto en el contenido de curcuminoides y que el material no tuvo un efecto significativo en esta variable.



**Figura 15.** Variación de curcuminoides totales en rizoma de distintos material y cultivado en distintas localidades durante varias etapas del cultivo. a) Uramita. b) Cañargordas. c) Sopetran

Debido al resultado del análisis ANOVA multivariado determinar el tiempo óptimo de cosecha adquiere alta importancia ya que este es un factor que influye en el

contenido de curcuminoides.

El análisis de curcuminoides en distintas etapas del cultivo permite observar una etapa donde el contenido de curcuminoides empieza a aumentar. Esta etapa se observa en el día 202 (6.7 meses aproximadamente) hasta el día 310, el aumento registrado es mostrado en la tabla 8. Los incrementos son altos, en este tiempo se duplica el contenido de curcuminoides presentes en los rizomas (respecto al contenido final), esto ocurre en un periodo de 108 días.

**Tabla 8.** Incremento de contenido de curcuminoides desde el día 202 al día 310 expresado en porcentaje.

	Incremento curcuminoides (%)		
	<b>Local</b>	<b>Putumayo</b>	<b>India</b>
Uramita	52	49	44
Cañasgordas	53	61	54
Sopetran	58	58	47

Existe poca información reportada respecto a la variación del contenido de curcuminoides en diferentes etapas de cosecha, Sylvia y col. reportan un mayor contenido de curcuminoides en la primera etapa que ellos analizan la cual corresponde a los 5 meses (150 días aprox.) de cultivo y luego una disminución desde el mes 6 al 9 (270 días aprox.); en Jamaica donde la cúrcuma se cosecha cuando la hojas se han secado lo que indica tiempo de cosecha correspondiente al mes 9 (Sylvia A Mitchell, 2014, 2). Esto difiere con el resultado obtenido para las localidades de Uramita, Cañasgordas y Sopetran, donde se encuentra un incremento en el contenido de curcuminoides. Como se ha mencionado las condiciones agroecológicas en cada zona afecta los procesos metabólicos de las plantas, viéndose reflejado en el rendimiento

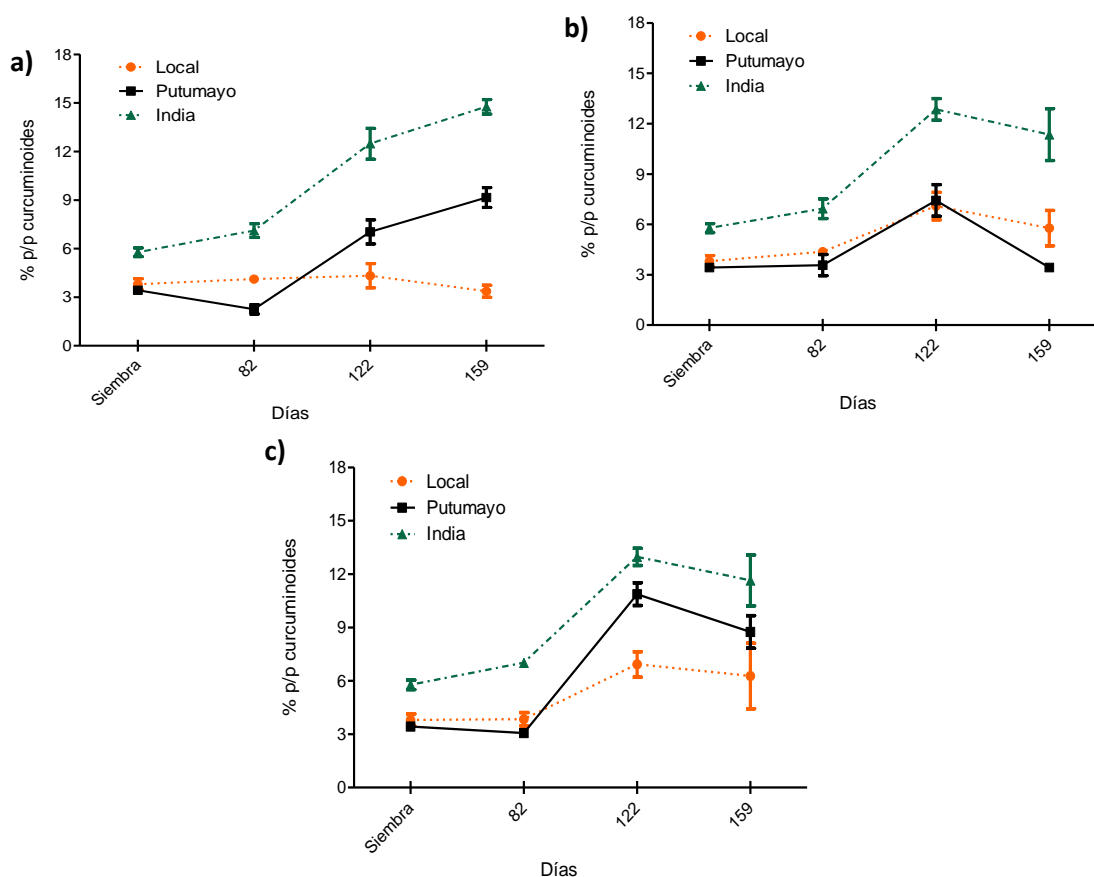
productivo y la producción de metabolitos secundarios. Sin embargo es de resaltar que en este caso se tuvieron mediciones periódicas y se evidenciaba que al mes 5 de cultivo (150 días aproximadamente) la formación de rizomas era incompleta y que los cultivos tuvieron una duración total determinada por la apariencia de las hojas, es decir cuando están se secan y adquieren un color café.

Se ha reportado el efecto del tiempo de cosecha sobre la biomasa y el rendimiento de la producción de rizomas de cúrcuma, los resultados globales de dicho estudio indican que la cúrcuma produce el rendimiento más alto de rizomas secos, cuando los brotes se han marchitado por completo, y que deben ser cosechados en enero (271 días de cultivo) cuando han sido sembrados en abril bajo las condiciones de Okinawa, Japón (Mohammad Amzad Hossain, 2010, 98)

Debido a los resultados obtenidos en el estudio que se realizó en el occidente antioqueño se indica que el tiempo de cosecha óptimo para la cúrcuma en un ciclo de producción bajo las condiciones agroclimáticas de Uramita, Cañasgordas y Sopetran se encuentra entre los 290 y 310 días de cultivo de acuerdo a los parámetros analizados.

Como se mencionó inicialmente en el primer muestreo luego de la siembra (día 82) no se encontró aún formación de rizomas nuevos aunque ya había germinación, sin embargo si se encontraron rizomas usados como material de propagación. Estos rizomas fueron analizados en tres etapas hasta el día 159, durante este periodo había presencia de ellos en la muestra tomada. Los resultados de este estudio se muestran en la figura 14, la tendencia en ese caso para las tres localidades fue un aumento de concentración de curcuminoides del día 82 al día 122, siendo la excepción el material local, donde no hay diferencias significativas desde la siembra hasta el día 159; este

hecho se presenta para Cañasgordas, Uramita y Sopetran, para las cuales no hay diferencias significativas entre el contenido de curcuminoides en el material local en el momento de la siembra y en las etapas evaluadas luego del análisis de varianza.



**Figura 16.** Variación de curcuminoides totales en rizomas de propagación de distintos materiales durante varias etapas del cultivo en las localidades. a) Uramita. b) Cañasgordas. c) Sopetran

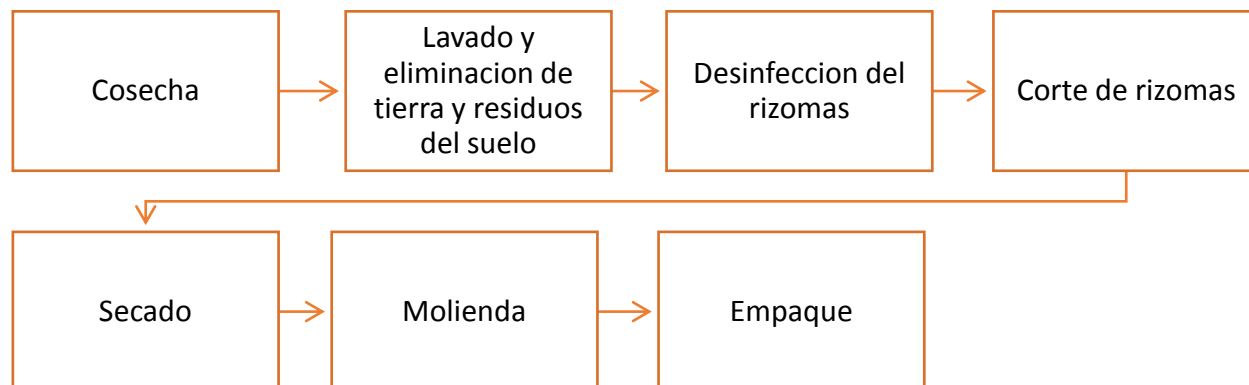
Los materiales India y Putumayo aumentan el contenido de curcuminoides principalmente del día 82 al día 122. A partir del día 122 se observa una disminución para los materiales en las localidades de Cañasgordas y Sopetran sin embargo no hay diferencia significativa entre el contenido de curcuminoides en los días 122 y 159 excepto para el material de Putumayo en Cañasgordas donde se presentó una

disminución de curcuminoides estadísticamente significativa.

Teniendo presente que el material analizado en este grafico viene de un proceso de cosecha (que tarda en promedio 9 meses) y que luego es usado en un nuevo cultivo como material de propagación es decir a los 9 meses se le suman 159 días registra de manera general un aumento o conservación inicial en el contenido de curcuminoides en los rizomas (rizomas que no logran germinar) respecto al contenido que presentan al momento de la siembra.

**Determinación de las condiciones que permiten mantener las características fisicoquímicas y microbiológicas óptimas en cada una de las etapas de poscosecha para cumplir con parámetros de calidad internacional.**

Las etapas de poscosecha intervienen desde el momento de la cosecha hasta el consumo final del producto en forma procesada o fresca. Estas etapas son diversas y dependen de cada producto. El procesamiento de rizomas de *Curcuma longa* para la obtención de la harina de cúrcuma requiere de varias etapas poscosecha que se muestran de manera esquemática en la figura 17.



**Figura 17.** Etapas poscosecha desde la cosecha hasta la obtención de harina de cúrcuma.

Cada una de estas etapas es fundamental para obtener un producto de calidad, conservando las características fisicoquímicas y microbiológicas deseadas.

Realizar procesos poscosecha adecuados no solo permite obtener un producto de alta calidad sino disminuir pérdidas en el proceso.

Dentro de las etapas mostradas anteriormente el proceso de desinfección, de secado y de empaque son críticas debido a que pueden afectar de manera significativa la calidad de la harina de cúrcuma.

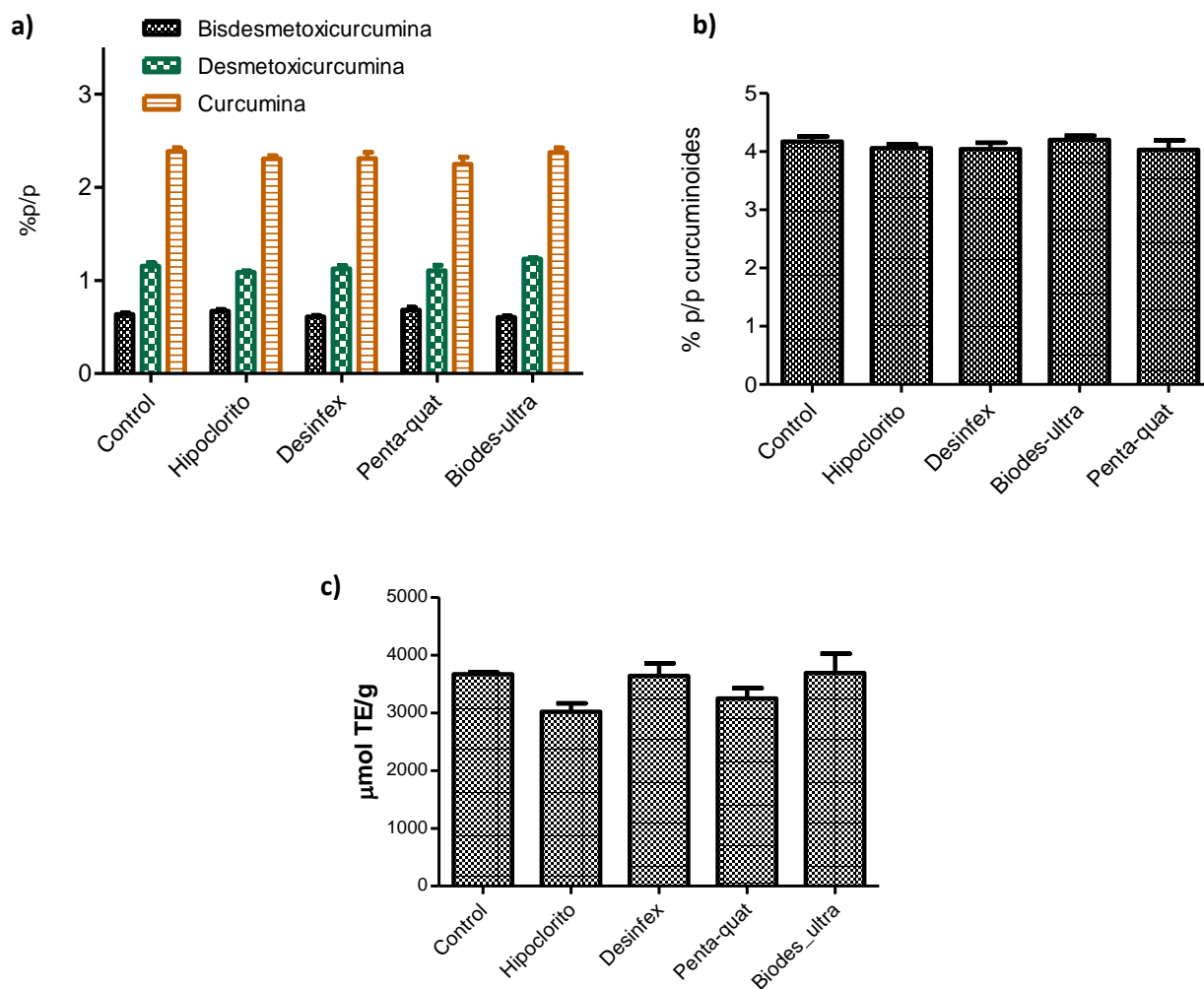
### **Efecto del proceso de desinfección sobre los rizomas de *Curcuma longa***

Lo ideal es elegir un proceso de desinfección que garantice las condiciones microbiológicas necesarias para el producto y que adicionalmente ayude a conservar

las características fisicoquímicas del producto. Para analizar el efecto de los desinfectantes se utilizó un control que correspondía a rizomas del mismo lote que no fueron sometidos a la acción de ningún desinfectante y 4 ensayos donde se usaron los desinfectantes comerciales.

Los resultados obtenidos indican que los parámetros curcuminoides y capacidad antioxidante no mostraron cambios significativos al usar las soluciones desinfectantes (figura 18).

La capacidad antioxidante y el contenido de curcuminoides se conservan durante el proceso de desinfección, por lo que esta etapa de la pos-cosecha no afecta estos parámetros químicos independiente del producto que sea usado. Los desinfectantes usados tienen propiedades químicas diferentes. Se usaron desinfectantes de carácter básico a base de sales de amonio cuaternario y de hipoclorito y otro a base de ácidos orgánicos. Los curcuminoides son estables a pH ácido por lo que el desinfectante cuyo componente activo son los ácidos no generó procesos de degradación de los curcuminoides. A pesar de que los curcuminoides no son estables a pH básico el proceso de desinfección con los desinfectantes de amonio cuaternario e hipoclorito que generan soluciones básicas no disminuyeron el contenido de curcuminoides. La corteza de los rizomas puede generar una protección sobre los curcuminoides impidiendo la reacción entre los compuestos activos de los desinfectantes y los curcuminoides ya que no hay un contacto directo entre el baño desinfectante y los compuestos bioactivos. El tiempo de desinfección también puede influir ya que la reacción de degradación podría generarse con tiempos de baño de desinfección muy prolongados.



**Figura 18.** Efecto de soluciones desinfectantes sobre los rizomas de *Curcuma longa*. a) variación del contenido de curcuminoides. b) variación del contenido de curcuminoides totales. c) capacidad antioxidante (ORAC).

La conservación del contenido de curcuminoides se ve reflejado adicionalmente en el valor de la capacidad antioxidante, la cual no se ve disminuida significativamente. El color es un parámetro importante para la harina debido a los usos que ésta presenta, el análisis de color en este caso mostró que existen diferencias significativas en los parámetros del espacio CIElab como se puede ver en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados ANOVA para parámetros CIELab de color luego de aplicar soluciones desinfectantes.

	<b>Control</b>	<b>Hipoclorito</b>	<b>Desinfex</b>	<b>Biodes-ultra</b>	<b>Pentaquat</b>
L	88.4 <sup>a</sup>	84.9 <sup>a</sup>	85.9 <sup>a</sup>	84.9 <sup>a</sup>	85.7 <sup>a</sup>
a	-8.3 <sup>b</sup>	-3.2 <sup>b</sup>	-3.5 <sup>b</sup>	-1.1 <sup>b</sup>	-4.5 <sup>b</sup>
b	120.9 <sup>c</sup>	120.4	121.8	119.6 <sup>c</sup>	120.3

\*La misma letra en una fila significa que hay diferencias significativas respecto al control.

De acuerdo a los resultados el proceso de desinfección reduce significativamente la luminosidad de las soluciones preparadas a partir de harina obtenida luego del uso de desinfectantes respecto al control, entre los productos desinfectantes no hay diferencias. La posición entre rojo y verde (a\*, valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) se encuentra que hay diferencias significativas entre el control y todos los desinfectantes, en este caso los desinfectantes hipoclorito y desinfex tienen un efecto similar en el color de la solución pero con diferencia respecto al biodes-ultra y pentaquat. La solución del control presenta mayor tonalidad verde respecto a los otros desinfectantes seguido del pentaquat; el biodes-ultra registra la tonalidad verde más baja. La posición entre amarillo y azul (b\*, valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) indica que solo el biodes-ultra genera una disminución al parámetro respecto al control. Ningún desinfectante genera un aumento significativo en dicho parámetro. El proceso de desinfección solo tienen un efecto en el color, donde genera cambios en luminosidad y en el parámetro a\*.

El hipoclorito y soluciones desinfectantes poliméricos a base de biguanadina tienen un efecto similar en el parámetro de color a, que no está asociado con el contenido de curcuminoides. Este efecto es probablemente debido a los cambios generados en otros compuestos químicos presentes en los rizomas. El hipoclorito de

sodio es un oxidante fuerte, sin embargo a las concentraciones utilizadas en el tratamiento de desinfección no oxidó los curcuminoides debido a que su concentración se mantuvo constante. Sin embargo, es probable que otras sustancias presentes en los rizomas fueron susceptibles a una reacción de oxidación en las condiciones de desinfección lo que puede generar cambios en el color de la solución.

El grupo funcional biguanadina tiene nitrógenos con pares de electrones libres que pueden actuar como una base. Esta base puede reaccionar con sustancias ácidas presentes en los rizomas de cúrcuma lo que puede generar cambios estructurales que afectan el color.

La solución desinfectante de sales de amonio cuaternario tuvo el mayor efecto sobre el parámetro a respecto al control. Las sales de amonio cuaternario son estables, sin embargo en algunas reacciones funcionan como catalizadores. Las sales de amonio pueden haber facilitado la reacción entre algunos de los múltiples compuestos presentes en los rizomas de cúrcuma, generando una disminución en el tono verde de la solución obtenida.

El desinfectante compuesto de ácidos débiles tuvo un efecto menor sobre el parámetro  $a^*$ , esto es debido a que estas sustancias son menos reactivos que los presentes en los otros desinfectantes. Este desinfectante es el único que generó soluciones con un pH ácido.

El parámetro b se vio afectado en el proceso de desinfección, sin embargo en este caso no se encontró una tendencia en la disminución del parámetro con el uso de desinfectantes, sólo el uso de soluciones de ácidos débiles causó una disminución en

el parámetro b con respecto al control. El proceso de desinfección sólo tuvo un efecto sobre el color.

La eficacia desinfectante se evaluó realizando un análisis microbiológico a cada material luego del proceso de desinfección, estos resultados se observan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Análisis microbiológico de muestras de rizomas de cúrcuma tratados con diferentes desinfectantes.

Muestra	Recuento de aerobios Mesófilos		Salmonella sp		Bacillus cereus
	Resultados (UFC/g)	Limite Permisibles	Resultados (UFC/g)	Limite Permisibles	Resultados (UFC/g)
Hipoclorito	33070	10 <sup>5</sup>	Ausente/25 g	Ausente/25 g	<100
Desinfex	31730		Ausente/25 g		<100
Pentaquat	33070		Ausente/25 g		<100
Biodesultra	40600		Ausente/25 g		<100
Control	96270		Ausente/25 g		<100

Muestras	Análisis	Resultado (UFC/g)	Límites Permisibles
Hipoclorito	NMP de Coliformes Totales	15	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>3</sup>
	NMP de Coliformes Fecales	<3	
Desinfex	NMP de Coliformes Totales	50	
	NMP de Coliformes Fecales	<3	
Pentaquat	NMP de Coliformes Totales	90	
	NMP de Coliformes Fecales	<3	
Biodes-ultra	NMP de Coliformes Totales	40	
	NMP de Coliformes Fecales	<3	
Control	NMP de Coliformes Totales	240	
	NMP de Coliformes Fecales	<3	

Los resultados indican que el proceso de desinfección permite obtener productos que cumplen con los límites permisibles de microorganismos. Los 4 productos no generan disminución en el contenido de curcuminoides y capacidad

antioxidante pero afectan el color de las soluciones preparadas a partir de los rizomas como se menciona anteriormente.

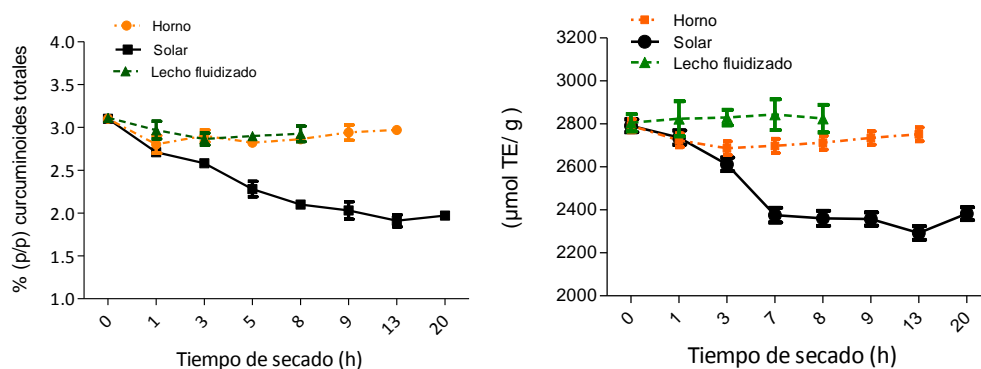
La tonalidad afectada no es la amarilla que es la de mayor interés debido a la relación que esta tiene con el contenido de curcuminoides.

### Efecto del proceso de secado sobre los rizomas de *Curcuma longa*

El proceso de secado se realizó siguiendo el método artesanal (secado solar) y por métodos convectivos usando horno de bandejas y lecho fluidizado.

Cada tecnología de secado tiene una influencia sobre el rendimiento térmico del secado. Se desea en este caso analizar el efecto que tienen tres tecnologías de secado sobre parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad de la harina.

En la figura 19 se muestran los resultados obtenidos para los parámetros analizados.



**Figura 19.** Efecto del método de secado sobre parámetros de calidad de los rizomas de *Curcuma longa*. a) variación del contenido de curcuminoides. b) Variación de la capacidad antioxidante.

El contenido de curcuminoides y la capacidad antioxidante de los rizomas luego de la etapa de secado muestra una tendencia similar. El secado solar tiene un efecto significativo en el contenido de curcuminoides y la capacidad antioxidante del mismo. Luego de realizar el secado solar el contenido de curcuminoides se reduce un

36.5% y la capacidad antioxidante un 15% respecto al contenido de curcuminoides iniciales. Realizar el tratamiento poscosecha de secado siguiendo la metodología artesanal disminuye significativamente la calidad del producto.

Esta disminución en el contenido de curcuminoides se vería reflejada en la reducción de rendimientos de procesos que usen este producto como materia prima, principalmente extracción de colorantes naturales (Wakte et al., 2011, 50).

La reducción en el contenido de curcuminoides luego de realizar un secado solar fue reportada antes por Prathapan et al. (Prathapan, Likhman, Arumugan, Sundaresan, y Raghu, 2009, 1443). Aunque se encontró que con el secado solar disminuye la concentración de curcuminoides al final del proceso, no se realizó un seguimiento de la concentración a lo largo del proceso de secado. El secado solar en este trabajo fue diseñado para imitar las condiciones típicas utilizadas por los agricultores en el occidente de Antioquia. En estas condiciones, el porcentaje de reducción fue mayor que el reportado en el estudio Prathapan (Prathapan et al., 2009, 1443) .

El secado solar afecta el color de las soluciones preparadas a partir de la harina, se encontraron diferencias significativas para los parámetros  $b^*$  y  $L^*$  de la harina obtenida usando el secado solar respecto al secado en horno y en lecho fluidizado como se muestra en la tabla 11.

Para la luminosidad se encontraron diferencias significativas entre el secado solar y los otros dos métodos de secado. El secado solar disminuyó la luminosidad de la solución. El parámetro  $b^*$  fue significativamente diferente, siendo mayor el valor de  $b^*$  en el secado por lecho fluidizado, lo que generó una solución con una tonalidad levemente más amarilla en comparación con el secado en horno.

**Tabla 11.** Resultados ANOVA de parámetros CIElab de color para harina de cúrcuma obtenida aplicando distintos secados a los rizomas (secado en lecho fluidizado, en horno y solar).

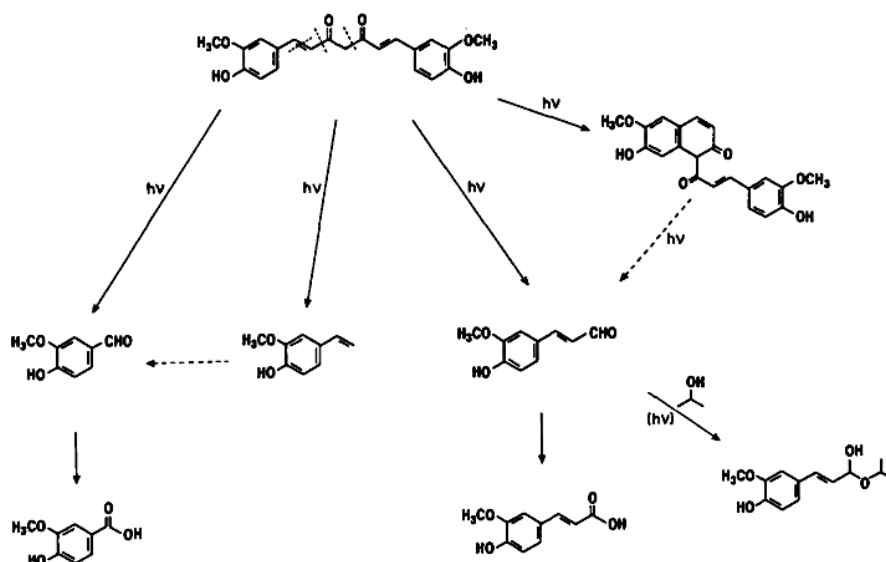
	Horno	Lecho Fluidizado	Solar
L	91.63 ± 0.12 <sup>a</sup>	92.17 ± 0.29 <sup>a</sup>	90.43 ± 0.38 <sup>a</sup>
A	-11.00 ± 0.10	-10.9 ± 0.17	-10.73 ± 0.23
B	124.90 ± 0.35 <sup>b</sup>	125.97 ± 0.35 <sup>b</sup>	123.93 ± 0.11 <sup>b</sup>

\*La misma letra en una fila significa que hay diferencias significativas respecto al secado solar

El secado solar depende de muchas variables que no pueden ser controladas como la humedad, la temperatura promedio del ambiente en el momento del secado lo que genera dificultades en la estandarización del proceso, bajo las condiciones del ensayo se encuentra que el material vegetal tardo 20 horas en llegar a una humedad menor al 10%. Estos tiempos prolongados de secado también pueden favorecer el crecimiento de microorganismos que contaminen el producto. El secado en horno y lecho fluidizado no muestran diferencias significativas entre si y no generan una disminución significativa en el contenido de curcuminoides y en la capacidad antioxidante de la harina de cúrcuma luego del proceso.

Como se puede ver en la figura 20, el secado en horno y en lecho fluidizado producen rizomas secos con un valor ORAC más alto que el secado al sol. La actividad antioxidante se correlaciona con un mayor contenido de curcuminoides, que es un efecto muy conocido, debido a su actividad antioxidante (Maheshwari, Singh, Gaddipati, y Srimal, 2006, 2082), (Menon y Sudheer, 2007, 108). Sin embargo Sing et al (G. Singh et al., 2010, 1029) informaron que hay otros principios activos con capacidad antioxidante en la Curcuma, la ar-turmerona y la alfa-turmerona, que son los principales constituyentes de aceite esencial y oleorresina. Estos autores sugieren que

dichos compuestos probablemente ejercen efectos sinérgicos o aditivos hacia la actividad antioxidante total, este hecho hace que la reducción de la capacidad antioxidante no sea equivalente a la misma disminución del contenido de curcuminoides.



**Figura 20.** Productos de degradación de la curcumina usando como solvente isopropanol (Tønnesen et al., 1986).

Adicionalmente, se debe resaltar que aunque no se conoce cuál es el producto de degradación favorecido y que hay pocos estudios al respecto, se han planteado algunos productos en los que se encuentran sustancias fenólicas que pueden tener capacidad antioxidante aunque no sea igual a la de los curcuminoides; estas sustancias se muestran en la figura 20.

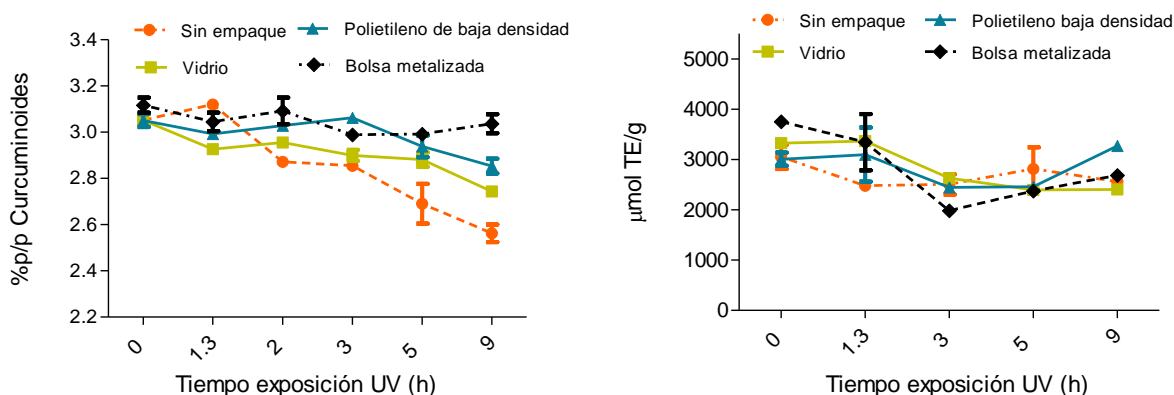
El proceso de secado haciendo uso de estas dos tecnologías tiene una duración inferior al método solar, usando un secado en horno tarda 13 horas y el secado en lecho fluidizado tarda 8 horas. Se tienen reducciones significativas en el tiempo de secado y se obtiene un material con mayor calidad.

Estos resultados indican que el mejor método de secado de acuerdo a los parámetros analizados, es el secado en horno y lecho. La diferencia entre estos dos métodos radica en el tiempo de secado y en el costo de inversión de las dos tecnologías. El proceso en el lecho tarda 5 horas menos que en horno, convirtiéndolo en un método rápido que puede aumentar los rendimientos de producción, sin embargo la inversión inicial en la tecnología de secado por lecho fluidizado es mayor (noventa millones para un equipo de 20 L de capacidad y control digital) que la de un horno (once millones para un equipo de 24 L de capacidad sin control digital). Estos dos métodos tienen la ventaja de permitir el control de variables como la temperatura y el tiempo de secado, en comparación con el método de secado solar, que es un proceso cuyas variables dependen de las condiciones climáticas del sitio de secado. El lecho fluidizado es de más fácil operatividad ya que no es necesario estar moviendo el material vegetal como en las bandejas del horno convencional.

### **Efecto de la radiación UV sobre la harina de cúrcuma usando distintos materiales de empaque**

El proceso de empaque debe garantizar la conservación de las cualidades del producto en este caso harina de cúrcuma. La cosecha es muy importante al igual que las etapas del pos-cosecha, todas deben ejecutarse de tal manera que garanticen la calidad del producto hasta su llegada al consumidor. La etapa de empaque es crítica debido a que esta debe garantizar la conservación de la calidad del producto hasta el momento de su consumo.

Para la harina de Curcuma se evaluaron los materiales de empaque que son usados actualmente por los productores de harina en el municipio de Uramita (vidrio y polipropileno), se usa un control y un material que protege de la luz (bolsa metalizada) debido a la evidencia que existe en la literatura y al resultado obtenido en el proceso de secado. La evaluación del material de empaque se realizó analizando cambios en la concentración de curcuminoides, la capacidad antioxidante y el color. Los resultados de la evaluación de estos materiales se muestran en la figura 21.



**Figura 21.** Efecto de la radiación UV en el contenido de curcuminoides usando distintos materiales de empaque de harina de cúrcuma. a) variación del contenido de curcuminoides totales respecto al tiempo. b) variación de la capacidad antioxidante de la harina respecto al tiempo.

La exposición de la harina a la radiación de la lámpara ultravioleta sin ser protegida por ningún tipo de empaque, genera una disminución en el contenido de curcuminoides de un 14% bajo las condiciones experimentales.

Cuando se usan materiales para almacenar la harina (vidrio, polietileno de baja densidad, bolsa metalizada) se observa una menor degradación de los curcuminoides. El tiempo de exposición y el material usados como empaque afectó el contenido de

curcuminoides. Hubo diferencias significativas en el contenido de curcuminoides de acuerdo al material de empaque usado. El material que proporcionó una mejor protección a los curcuminoides fue la bolsa metalizada, como se observa en la figura 20, ya que el contenido de curcuminoides permanece constante durante todo el proceso. La capacidad antioxidante de la harina de cúrcuma luego de la exposición a la radiación UV no cambió de manera significativa con el tiempo ni con el material de empaque. Esto se debió probablemente a que el porcentaje de curcuminoides degradados fue significativa pero no lo suficiente para que fuera evidenciada en la capacidad antioxidante de la harina, valor que también depende de la presencia de diversos compuestos químicos y de los productos de degradación como se menciona en el numeral 6.3.2.

El análisis de color de las soluciones preparadas a partir de la harina luego de ser expuesta a la radiación UV mostró un efecto sobre el parámetro  $a^*$ , como se puede ver en la tabla 12. Para este parámetro se encontró que la harina sin empacar presentaba un valor más negativo, es decir una tonalidad más verde. Las harinas empacadas no presentaron ninguna diferencia significativa entre sí.

**Tabla 12.** Resultados ANOVA de parámetros CIElab de color para harina de cúrcuma expuesta a radiación UV usando distintos materiales de empaque.

	Sin empaque	Vidrio	Poliétileno de baja densidad	Bolsa metalizada
L	96.25 ± 1.62	93.46 ± 0.95	94.05 ± 0.67	93.79 ± 0.70
a	4.97 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.88 ± 0.23 <sup>a</sup>	3.83 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.90 ± 0.14 <sup>a</sup>
b	119.89 ± 0.26	119.39 ± 1.24	120.05 ± 0.83	118.90 ± 0.45

\*La misma letra en una fila significa que hay diferencias significativas respecto a la harina sin empacar.

De acuerdo a todo lo anterior el material de empaque no tuvo un efecto significativo sobre la capacidad antioxidante y los parámetros L y  $b^*$  del espacio CIElab

cuando las muestras se sometieron a radiación pero si sobre la concentración de curcuminoides en la harina, siendo el material metalizado el que arroja los mejores resultados y conservando la calidad de la harina.

### **Protocolos poscosecha para la obtención de harina de *Curcuma longa*.**

El diseño de los protocolos se realizó a partir de los resultados obtenidos en los numerales 6.3.1, 6.3.2 y 6.3.3. Con los estudios descritos anteriormente se logró describir los procedimientos que deben ser utilizados para la obtención de una harina de cúrcuma que cumpla con los parámetros de calidad necesarios para su comercialización.

Se generaron los protocolos: DESINFECCIÓN PARA EL PROCESAMIENTO DE RIZOMAS DE *Curcuma longa* y PROCESO DE SECADO PARA RIZOMAS DE *Curcuma longa*. Los protocolos corresponden a los anexos 1 y 2 respectivamente.

Adicionalmente los protocolos fueron evaluados aplicándolos en un ensayo piloto de obtención de harina de cúrcuma. La harina obtenida en este ensayo piloto fue caracterizada para generar una ficha técnica que permitió determinar que la harina de cúrcuma cumplía con los parámetros de calidad descritos en la justificación.

La ficha técnica obtenida se encuentra en el anexo 3.

## Conclusiones

Las condiciones agroambientales y los materiales usados en el proceso de siembra influyeron en el rendimiento productivo del cultivo y en la calidad del producto; se evidenció que el material de siembra que presentó el mayor rendimiento en todas las localidades fue el material internacional (proveniente de la India). Este rendimiento se vió influenciado por la zona del cultivo siendo la finca ubicada en Sopetran la zona que presentó un rendimiento significativamente más bajo. Este hecho se asoció con las condiciones del suelo, principalmente a la cantidad de materia orgánica, que en esta localidad fue inferior a Cañasgordas y Uramita. Se recomienda para futuros cultivos garantizar un buen contenido de MO en los suelos, estos valores de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio se encontraron alrededor de 6.

El contenido de curcuminoides dependió de la localidad donde fue cultivada la *Curcuma longa* pero fue independiente del material usado en el proceso de siembra. El mejor material para ser usado en la propagación fue la India, debido a que presentó un contenido de curcuminoides igual a los otros dos materiales pero generó un rendimiento de producción mayor. El mayor rendimiento puede ser atribuido a que este material estaba formado principalmente por rizomas madre.

El tiempo de cosecha fue un parámetro que influyó en el contenido de curcuminoides, encontrando que el punto óptimo de cosecha analizando como variable el contenido de curcuminoides, se encuentra entre los 290 y 310 días de siembra.

El tipo de tratamiento poscosecha a los que se deben someter los rizomas de *Curcuma longa* para la obtención de harina afecta la calidad de esta. El proceso de desinfección usando 4 productos diferentes no tuvo ningún efecto en el contenido de

curcuminoides y la capacidad antioxidante sin embargo afecto el color de las soluciones preparadas a partir de la harina. Sin embargo la calidad microbiológica del producto debe garantizarse por lo que se recomienda usar sales de amonio cuaternario para la desinfección de equipos involucrados para evitar su oxidación y para el material vegetal se recomiendan desinfectantes a base de hipoclorito o de ácidos débiles que permitieron obtener un producto inocuo que cumplió con las características microbiológicas y de contenido de curcuminoides requerido para una harina de cúrcuma que cumple con parámetros de calidad.

El método de secado usado afecta las variables evaluadas, es decir curcuminoides, capacidad antioxidante y color de los rizomas de *Curcuma longa*. El secado solar afectó significativamente la calidad del producto, se registraron reducciones en el contenido de curcuminoides de un 36.5% y de la capacidad antioxidante de un 15%; esto representa pérdidas del valor agregado de la cúrcuma, que pueden ser controladas o minimizadas con la elección de un método de secado adecuado. El color en este caso también se vio afectado, para este se presentaron variaciones en los parámetros L y b\*, siendo el secado solar el significativamente diferente a los otros dos métodos de secado, con un valor de b\* y L menor.

Se recomienda realizar el secado en horno o por lecho fluidizado, debido a la conservación de las características fisicoquímicas de la harina y también a la reducción del tiempo de secado, que en este estudio fue de 7 horas menos en horno y de 12 horas menos en lecho respecto a las 20 horas que tarda un secado solar. El costo inicial en la inversión del lecho fluidizado es mayor a la de horno de bandeja, sin embargo se pueden realizar procesos de secado en menor tiempo lo que a largo plazo

se convierte en una gran ventaja. El costo de un equipo de lecho fluidizado con una capacidad de 20L oscila alrededor de sesenta millones de pesos mientras que un horno convencional de bandejas (10 bandejas) con una capacidad de 20L tiene un costo aproximado de once millones de pesos. El secado en horno tarda más tiempo y hay más riesgo de contaminación microbiológica debido a que las temperaturas de secado son relativamente bajas y el material tiene un humedad alta (mayor al 90%) lo que hace que los tiempos de residencia sean mayores que en un lecho fluidizado donde hay constantemente paso de corriente de aire. Quien disponga de ambos métodos de secado se le recomienda hacer uso del lecho fluidizado para el procesamiento de los rizomas ya que es un proceso más rápido y no afecta la calidad del producto.

El material de empaque influye en la calidad de la harina de cúrcuma cuando esta se ha sometido a radiación UV. La bolsa metalizada protegió los curcuminoides de procesos de fotodegradación, evitando la degradación del 14% de curcuminoides. En este sentido se recomienda utilizar como material de empaque de harina de cúrcuma la bolsa metalizada, para evitar la fotodegradación de los curcuminoides y conservar la calidad de los curcuminoides.

Por lo tanto se recomienda de manera general revisar las características de los suelos para garantizar un contenido de materia orgánica óptimo para el cultivo de *Curcuma longa*. El material de la India fue el que generó el mayor rendimiento, debido a esto se recomiendan materiales con características similares a este para el proceso de proagación. La cosecha de la cúrcuma debe realizarse entre los 290 y 310 días de cultivo.

El secado es el proceso poscosecha que más afecta el contenido de los curcuminoides en la obtención de harina de cúrcuma, para conservar la calidad del producto se recomienda hacer uso del secado por lecho fluidizado o en horno a una temperatura de 55°C y empacar la harina en bolsa metalizada para conservar su calidad. Se logra con los resultados obtenidos generar protocolos poscosecha para la obtención de harina de cúrcuma que se encuentran reportados en los anexos.

## Referencias

- Akamine, H., Hossain, A., Ishimine, Y., Yogi, K., & Hokama, K. (2007). Effects of Application of N , P and K Alone or in Combination on Growth , Yield and Curcumin Content of Turmeric ( *Curcuma longa* L .), *10*(October 2005), 151–154.
- Anandaraj, M., Prasath, D., Kandiannan, K., Zachariah, T. J., Srinivasan, V., Jha, a. K., ... Maheswari, K. U. (2014). Genotype by environment interaction effects on yield and curcumin in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Industrial Crops and Products*, *53*, 358–364. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.005>
- Ayhan, Z., Yeom, H. W., Howard Zhang, Q., & Min, D. B. (2001). Flavor, color, and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(2), 669–674. <http://doi.org/10.1021/jf000984b>
- Banga, J. R., & Paul Singh, R. (1994). Optimization of air drying of foods. *Journal of Food Engineering*, *23*(2), 189–211. [http://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90086-8](http://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90086-8)
- Başlar, M., Karasu, S., Kiliçli, M., Us, a. a., & Sałdıç, O. (2014). Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant activity of pomegranate arils during the drying process. *International Journal of Food Engineering*, *10*(4), 839–848. <http://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0080>
- Bureau of Indian Standards. Indian Standard Spices and Condiments - Turmeric, Whole and Ground - Specification (2010).
- Cao, G., Alessio, H. M., & Cutler, R. G. (1993). Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, *14*(3), 303–311. [http://doi.org/10.1016/0891-5849\(93\)90027-R](http://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90027-R)
- Cesavebc. (2013). Manual técnico de desinfección poscosecha. *Comité Estatal de Sanidad Vegetal Baja California*. Retrieved from [www.cesavebc.com/PIA/documentos/Manual de desinfeccion.pdf](http://www.cesavebc.com/PIA/documentos/Manual de desinfeccion.pdf)
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto, F. S., & Yong, M. Y. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry*, *113*(1), 166–172. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.090>
- Chen, I.-N., Chang, C.-C., Ng, C.-C., Wang, C.-Y., Shyu, Y.-T., & Chang, T.-L. (2008). Antioxidant and antimicrobial activity of Zingiberaceae plants in Taiwan. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, *63*(1), 15–20. <http://doi.org/10.1007/s11130-007-0063-7>

Cousins, M., Adelberg, J., Chen, F., & Rieck, J. (2007). Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa* L.) grown in vitro. *Industrial Crops and Products*, 25(2), 129–135. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.08.004>

Department of Agriculture and Cooperation, G. of I. Turmeric ( whole ) Trade Specifications Turmeric is also graded by the European Spice Association ( ESA ) on these parameters (2005).

Duffau B., Rojas F., Guerrero I., Roa L., Rodríguez L., Soto M., Aguilera M., S. S. (2010). Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición. *Instituto de Salud Pública*. SAntioago de Chile. Retrieved from [http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento\\_tecnico/2010/12/Guia T?cnica 1 validaci?n de M?todos y determinaci?n de la incertidumbre de la medici?n\\_1.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/12/Guia_Tecnica_1_validacion_de_Metodos_y_determinacion_de_la_incertidumbre_de_la_medicion_1.pdf)

EPA. (1995). Dehydrated Fruits and Vegetables. In AP 42 (Fifth, p. 95), Chapter 9. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Fukuzaki, S. (2006). Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol Science*, 11(4), 147–57. <http://doi.org/10.4265/bio.11.147>

Gaura, P., Rajshree, P., Kamlesh, A., & Namdeo, K. N. (2012). Effect of organic and inorganic sources of nutrients on nutrient contents and uptake of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Crop Research (Hisar)*, 44(1/2), 243–245.

Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., & Allende, A. (2009). Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: Problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*, 134(1-2), 37–45. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.021>

Gómez-Estaca, J., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2015). Encapsulation of curcumin in electrosprayed gelatin microspheres enhances its bioaccessibility and widens its uses in food applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 302–307. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.004>

González-Burgos, E., & Gómez-Serranillos, M. P. (2012). Terpene compounds in nature: a review of their potential antioxidant activity. *Current Medicinal Chemistry*, 19(31), 5319–41. <http://doi.org/CMC-EPUB-20120903-5> [pii]

Gopichand, Singh, R. D., Meena, R. L., Singh, M. K., Kaul, V. K., Lal, B., ... Prasad, R. (2006). Effect of manure and plant spacing on crop growth, yield and oil-quality of *Curcuma aromatica* Salisb. in mid hill of western Himalaya. *Industrial Crops and Products*, 24(2), 105–112. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.06.006>

- Govindarajan, V. S., & Stahl, W. H. (1980). *Turmeric — chemistry, technology, and quality*. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.
- Griffin, R. C. (2012). Principles of package development. Springer Science & Business Media. <http://doi.org/10.1007/978-94-011-7382-7>
- Haytowitz, D., & Bhagwat, S. (2010). USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, Release 2. *US Department of Agriculture*, 10 – 48. <http://doi.org/http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- Herrmann, K. (1995). The Shikimate Pathway: Early Steps in the Biosynthesis of Aromatic Compounds. *The Plant Cell*, 7(7), 907–919. <http://doi.org/10.1105/tpc.7.7.907>
- Hossain, A., & Ishimine, Y. (2005). Growth , Yield and Quality of Turmeric ( *Curcuma longa* L .) Cultivated on Dark-red Soil , Gray Soil and Red Soil in Okinawa , Japan, 8(September 2004), 482–486.
- Hossain, M. A. (2010). Effects of Harvest Time on Shoot Biomass and Yield of Turmeric (*Curcuma longa* L.) in Okinawa, Japan. *Plant Products Science*, 13(1), 97–103. <http://doi.org/10.1626/pp.s.13.97>
- Hossain, M. A., Ishimine, Y., Akamine, H., & Motomura, K. (2005). Effects of Seed Rhizome Size on Growth and Yield of Turmeric (*Curcuma longa* L.). *Plant Production Science*, 8(1), 86–94. <http://doi.org/10.1626/pp.s.8.86>
- Hovmand, S. (Niro atomizer I. (1995). Fluidized Bed Drying. In Aruns S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying* (Second Edi, p. 715). New York: CRS press.
- Huang, M. T., Newmark, H. L., & Frenkel, K. (1997). Inhibitory effects of curcumin on tumorigenesis in mice. *Journal of Cellular Biochemistry*, 67(SUPPL. 27), 26–34. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4644\(1997\)27+<26::AID-JCB7>3.0.CO;2-3](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4644(1997)27+<26::AID-JCB7>3.0.CO;2-3)
- Imre, L. (Technical U. of B. (1995). Solar Drying. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying* (Second Edi, pp. 373–398). New York: 1995.
- Jagadeeswaran, R., Murugappan, V., & Govindaswamy, M. (2008). Effect of slow release multi-nutrient fertilizers on the yield and nutrient uptake in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Applied Horticulture (Lucknow)*, 10(2), 100–105. Retrieved from [http://www.horticultureresearch.net/Journal of Applied Horticulture10\(2\).pdf](http://www.horticultureresearch.net/Journal%20of%20Applied%20Horticulture10(2).pdf)
- Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. K. (2002). Improved HPLC method for the determination of curcumin, demethoxycurcumin, and bisdemethoxycurcumin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13), 3668–72. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12059141>

- Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L., & Sakariah, K. K. (2005). Chemistry and biological activities of *C. longa*. *Trends in Food Science & Technology*, 16(12), 533–548. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.08.006>
- Joshi, a. P. K., Rupasinghe, H. P. V, & Khanizadeh, S. (2011). Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin c and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 453–457. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00487.x>
- Jurenka, J. S. (2009). Anti-inflammatory properties of curcumin, a major constituent of *Curcuma longa*: a review of preclinical and clinical research. *Alternative Medicine Review : A Journal of Clinical Therapeutic*, 14(2), 141–53. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19594223>
- Kita, T., Imai, S., Sawada, H., Kumagai, H., & Seto, H. (2008). The Biosynthetic Pathway of Curcuminoid in Turmeric ( *Curcuma longa* ) as Revealed by <sup>13</sup>C-Labeled Precursors. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 72(7), 1789–1798. <http://doi.org/10.1271/bbb.80075>
- Kováčik, J., Klejdus, B., Hedbavny, J., Štork, F., & Bačkor, M. (2009). Comparison of cadmium and copper effect on phenolic metabolism, mineral nutrients and stress-related parameters in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant and Soil*, 320(1-2), 231–242. <http://doi.org/10.1007/s11104-009-9889-0>
- Kumar, A., Dogra, S., & Prakash, A. (2009). Protective effect of curcumin (*Curcuma longa*), against aluminium toxicity: Possible behavioral and biochemical alterations in rats. *Behavioural Brain Research*, 205(2), 384–90. <http://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.07.012>
- Kumar, B., & Gill, B. S. (2010). Growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) as influenced by planting method, plant density and planting material. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 19(1/2), 42–49.
- Lange, J., & Wyser, Y. (2003). Recent Innovations in Barrier Technologies for Plastic Packaging - a Review. *Packaging Technology and Science*, (16), 149–158.
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., Yang, P., & Aggarwal, B. B. (2011a). Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric ( *Curcuma longa* L .), 28–54.
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., Yang, P., & Aggarwal, B. B. (2011b). Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric ( *Curcuma longa* L .). *Pharmaceutical Crops*, 2, 28–54.
- Li Shiyou, Yuan Wei, Deng Guangrui, Wang ping, Yang Paiying, A. B. B. (2011). Chemical composition and product quality control of turmeric ( *Curcuma longa* L .). *Pharmaceutical Crops*, 2, 28–54. <http://doi.org/10.2174/2210290601102010028>

- Lo Scalzo, R., Bianchi, G., Genna, a., & Summa, C. (2007). Antioxidant properties and lipidic profile as quality indexes of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) in relation to harvest time. *Food Chemistry*, *100*(3), 1019–1025. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.054>
- Luque de Castro, M. ., & García-Ayuso, L. . (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*, *369*(1-2), 1–10. [http://doi.org/10.1016/S0003-2670\(98\)00233-5](http://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00233-5)
- Maheshwari, R. K., Singh, A. K., Gaddipati, J., & Srimal, R. C. (2006). Multiple biological activities of curcumin: a short review. *Life Sciences*, *78*(18), 2081–7. <http://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.12.007>
- Menon, V. P., & Sudheer, A. R. (2007). Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, *595*(September 2001), 105–25. [http://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5\\_3](http://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_3)
- Mujumdar, Arun (National University of Singapur); Devashastin, Sakamon (King Mongkuts Univerity of Tecnology Thonburi, B. (2005). Aplications for Fluidized Bed Drying. In W.-C. (Siemens W. P. C. Yang (Ed.), *Handbook of Fluidization and Fluid -Particle Systems* (First Edit, pp. 469–485). New York.
- Ölmez, H., & Kretzschmar, U. (2009). Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(3), 686–693. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.001>
- Olszanecki R1, Jawień J, Gajda M, Mateuszuk L, Gebaska A, Korabiowska M, Chłopicki S, K. R. (2005). Effect of curcumin on a theroesclerosis in apo E/LDLR - double knockout mice. *Journal of Physiology and Pharmacol*, *65*(3), 376–380. Retrieved from [http://www.jpp.krakow.pl/journal/archive/12\\_05/pdf/627\\_12\\_05\\_article.pdf](http://www.jpp.krakow.pl/journal/archive/12_05/pdf/627_12_05_article.pdf)
- P. N. Ravindran, K. Nirmal Babu, K. S. (Ed.). (2007). *Turmeric*. CRC press.
- Pascual-lizaga, A. (2003). *Envase Y Embalaje*. (E. Editorial, Ed.) (2nd ed.). Madrid.
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., & García-Viguera, C. (2004). Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *84*(7), 639–644. <http://doi.org/10.1002/jsfa.1721>
- Perkin, H. (2001). Present status of natural dyes, *26*(June), 191–201.
- Pincemail, J., Kevers, C., Tabart, J., Defraigne, J. O., & Dommès, J. (2012). Cultivars, Culture Conditions, and Harvest Time Influence Phenolic and Ascorbic Acid

- Contents and Antioxidant Capacity of Strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Food Science*, 77(2). <http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02539.x>
- Pintea, A. M. (2008). Libro colorantes. In C. Socaciu (Ed.), *Food Colorants chemical and functional properties* (Fist, p. 637). Boca Raton: CRC press- Francis Taylor group.
- Prakash, S., Jha, S. K., & Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 305–313. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00244-9](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00244-9)
- Prathapan, a., Lukhman, M., Arumughan, C., Sundaresan, a., & Raghu, K. G. (2009). Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(7), 1438–1444. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01976.x>
- Ramirez-Ahumada, M. D. C., Timmermann, B. N., & Gang, D. R. (2006). Biosynthesis of curcuminoids and gingerols in turmeric (*Curcuma longa*) and ginger (*Zingiber officinale*): Identification of curcuminoid synthase and hydroxycinnamoyl-CoA thioesterases. *Phytochemistry*, 67(18), 2017–2029. <http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.06.028>
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)
- Robertson, G. L. (2006). *Food Packaging: Principles and Practice*. IFLA Journal (Third, Vol. 32). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group. <http://doi.org/10.1177/0340035206070163>
- Rodríguez, K., Ah-Hen, K. S., Vega-Gálvez, A., Vásquez, V., Quispe-Fuentes, I., Rojas, P., & Lemus-Mondaca, R. (2016). Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui, *Aristotelia chilensis* [Mol] Stuntz, berries during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 537–542. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.050>
- Sanwal, S., & Laxminarayana, K. (2007). Effect of organic manures on soil fertility, growth, physiology, yield and quality of turmeric. *Indian Journal of ...* Retrieved from <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijh&volume=64&issue=4&article=016>
- Sasikumar, B. (2005). Genetic resources of *Curcuma*: diversity, characterization and utilization. *Plant Genetic Resources*, 3(2), 230–251. <http://doi.org/10.1079/PGR200574>

- Secado térmico. (n.d.). Retrieved from <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/Secado-Termico.pdf>
- Sharma, R. a, Gescher, a J., & Steward, W. P. (2005). Curcumin: the story so far. *European Journal of Cancer (Oxford, England : 1990)*, 41(13), 1955–68. <http://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.05.009>
- Singh, G., Kapoor, I. P. S., Singh, P., de Heluani, C. S., de Lampasona, M. P., & Catalan, C. a. N. (2010). Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* Linn.). *Food and Chemical Toxicology*, 48(4), 1026–1031. <http://doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.015>
- Singh, S., Joshi, R. K., & Nayak, S. (2013). Identification of elite genotypes of turmeric through agroclimatic zone based evaluation of important drug yielding traits. *Industrial Crops and Products*, 43, 165–171. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.006>
- Siva, R. (2007). Status of natural dyes plants India. *Current Science*, 92(7), 916–917.
- Solyom, A. M., Metzler, M., Pfeiffer, E., & Simone, H. (2003). Studies on the stability of turmeric constituents. *Journal of Food Engineering*, 56, 257–259.
- Stankovic, I. (2004). Curcumin - Chemical and Technical Assessment. *JECFA*, 1(8), 1–8.
- Sukhareva, Yakovlev, & Legonkova. (2008). *Polymers for Packaging and Containers in Food Industry*. (T. and F. Group, Ed.). Boston. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=z4jOBQAAQBAJ&pgis=1>
- Sylvia A Mitchell, C. E. G. (2014). The Effects of Blanching, Harvest Time and Location (with a Minor Look at Postharvest Blighting) on Oleoresin Yields, Percent Curcuminoids and Levels of Antioxidant Activity of Turmeric (*Curcuma longa*) Rhizomes Grown in Jamaica. *Modern Chemistry & Applications*, 02(04). <http://doi.org/10.4172/2329-6798.1000140>
- Tilak, J. C., Banerjee, M., Mohan, H., & Devasagayam, T. P. a. (2004). Antioxidant availability of turmeric in relation to its medicinal and culinary uses. *Phytotherapy Research : PTR*, 18(10), 798–804. <http://doi.org/10.1002/ptr.1553>
- Tønnesen, H. H. (2006). Solubility and stability of curcumin in solutions containing alginate and other viscosity modifying macromolecules: Studies of curcumin and curcuminoids. *XXX. Pharmazie*, 61(8), 696–700.

- Tønnesen, H. H., & Karlsen, J. (1985). Studies on curcumin and curcuminoids - V. Alkaline Degradation of Curcumin. *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung*, 180(2), 132–134. <http://doi.org/10.1007/BF01042637>
- Tønnesen, H. H., Karlsen, J., & van Henegouwen, G. B. (1986). Studies on curcumin and curcuminoids VIII. Photochemical stability of curcumin. *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung*, 183(2), 116–122. <http://doi.org/10.1007/BF01041928>
- Urwaye, A. P. (2008). *New Food Engineering Research Trends*. (A. P. Urwaye, Ed.) New York. Nova science Publishers.
- Vidrio. (n.d.). Retrieved from <https://es.wikipedia.org/wiki/Vidrio>
- Vries, a J. De, Bonnebat, C., & Beautemps, J. (1977). Uni- and Biaxial Orientation of Polymer Films and Sheets. *Journal of Polymer Science: Polymer Symposia* 1, 58(1977), 109–156.
- Wakte, P. S., Sachin, B. S., Patil, a. a., Mohato, D. M., Band, T. H., & Shinde, D. B. (2011a). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Separation and Purification Technology*, 79(1), 50–55. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.03.010>
- Wakte, P. S., Sachin, B. S., Patil, a. a., Mohato, D. M., Band, T. H., & Shinde, D. B. (2011b). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Separation and Purification Technology*, 79(1), 50–55. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.03.010>
- Wang, Y. J., Pan, M. H., Cheng, A. L., Lin, L. I., Ho, Y. S., Hsieh, C. Y., & Lin, J. K. (1997). Stability of curcumin in buffer solutions and characterization of its degradation products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 15(12), 1867–1876. [http://doi.org/10.1016/S0731-7085\(96\)02024-9](http://doi.org/10.1016/S0731-7085(96)02024-9)