



**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -CONCYT-
SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -SENACYT-
FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -FONACYT-
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA -USAC-**

INFORME FINAL

**DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CONTENIDO Y DISPONIBILIDAD DE
OLIGOELEMENTOS EN HOJAS DE VEGETALES NATIVOS DE USO TRADICIONAL
EN LA ALIMENTACIÓN DEL GUATEMALTECO Y PRESENCIA DE AGENTES
ANTIOXIDANTES Y ANTINUTRICIONALES**

Proyecto FODECYT 69-2012

**Armando Cáceres Estrada
Investigador Principal**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT).

OTROS AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias al apoyo logístico y material del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) y del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía, ambos de la Universidad de San Carlos y del Laboratorio de Productos Naturales Farmaya, S.A.

El Investigador Principal desea agradecer la colaboración de las siguientes personas que participaron en alguno de los aspectos de la investigación:

Investigadores Asociados

Drs. Sully M. Cruz Velásquez, José Vicente Martínez Arévalo, Aníbal Sacbajá.

Auxiliares de Investigación

Lic. Max Mérida Reyes, Licda. Alejandra López Morales, Licda. Laura Astorga Domínguez

Investigadores Colaboradores

Licda. Ligia Sampuel e Ing. Alfredo López

Estudiantes realizando Seminario de Tesis

Madaí Alvarado, Edith Cabrera, Gabriela Mancilla y Sonia Tumax

Fotografía 1. Equipo de Investigación acompañado de supervisora del CONCYT (Faltan Ings. Vicente Martínez, Anibal Sacbajá, Madai Alvarado y Sonia Tumax)



Fuente: FODECYT 69-2012

RESUMEN

Se colectaron nueve especies de hierbas comestibles nativas (*Amaranthus hybridus*, *Dysphania ambrosioides*, *Cnidoscolus chayamansa*, *Crotalaria longirostrata*, *Lycianthes synanthera*, *Sechium edule*, *Solanum americanum*, *S. nigrescens* y *S. wendlandii*), dos especies extranjeras cultivadas (*Moringa oleifera* y *Spinacea oleracea*) y muestras de suelo de las localidades. Cada especie fue colectada en dos regiones del país, en los departamentos de Alta Verapaz, Escuintla, Guatemala, Jalapa, Sacatepéquez, Santa Rosa y Suchitepéquez. Las especies fueron determinadas botánicamente y se depositaron muestras en el Herbario CFEH del Laboratorio de Productos Naturales Farmaya. Se determinó la humedad (%) y rendimiento (%) y se prepararon muestras de la hierba seca, de la hierba cocida y seca, y de caldo a partir de hierba fresca.

En todos los extractos se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica los macro y oligoelementos (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn y Mn). En general el contenido de oligoelementos es diverso, en el caso de Zn, la hierba control *S. oleracea* contienen una buena cantidad (90-140 ppm); de las nativas *D. ambrosioides* (130-160 ppm) y *A. hybridus* (70-80 ppm) demostraron la mayor cantidad, las demás demostraron contenidos mayores (25-40 ppm) que los de *M. oleifera* (20-25 ppm). El análisis de la composición de Fe demostró que las hierbas control tienen una buena composición (*S. oleracea*, 220-280 ppm y *M. oleifera*, 105-135 ppm); de las nativas *A. hybridus* (90-240 ppm), *C. aconitifolius* (75-185 ppm) y *L. synanthera* (75-140 ppm) tuvieron las mayores concentraciones, siendo menores que *S. oleracea*, pero mayores que *M. oleifera*.

Se cuantificaron los componentes antinutricionales, el contenido de taninos por espectrofotometría usando ácido tánico como control y el de oxalatos por permanganimetría. De los dos factores estudiados, se encontraron niveles elevados de oxalatos, siendo los valores más altos los de *S. oleracea* (722±6 mg/100 g), *L. synanthera* (678±8 mg/100 g), *S. nigrescens* (455±7 mg/100 g) y *A. hybridus* (362±9 mg/100 g); el contenido en *M. oleifera* fue bajo (126±10 mg/100 g) y en todas las demás hierbas se encontraron niveles menores de 90 mg/100 g. Los niveles de taninos fueron relativamente bajos (0.1-0.7 mg/100 g) para todas las especies, controles y nativas.

Por CCF se caracterizó fitoquímicamente el contenido de cuatro compuestos; todas contienen alcaloides, cumarinas, aceites esenciales y flavonoides. Por microcolorimetría se evaluó la actividad antioxidante por DDPH y fenoles totales. Respecto a las hierbas de control, la actividad antioxidante por DPPH fue de CI_{50} 3.5±0.3 µg/ml para *M. oleifera* y de CI_{50} 5.5±6.2 µg/ml para *S. oleracea*; entre las hierbas nativas, *L. synanthera* (CI_{50} 2.5±1.0 µg/ml) tuvo mejor actividad que los controles, y *S. wendlandii* (CI_{50} 6.9±0.3 µg/ml), *C. aconitifolius* (CI_{50} 6.0±1.0 µg/ml) y *S. nigrescens* (CI_{50} 0.3±3.0 µg/ml), tuvieron valores intermedios. En el caso de fenoles totales, solamente el control de *S. oleracea* demostró actividad (23.33-29.35 mgEq de ácido gálico/g de extracto), concentración que fue inferior a la de *S. wendlandii* y *S. nigrescens* (28.09-29.29 y 26.10-35.20 mEq de ácido gálico/g extracto).

Se atendieron 19 solicitudes de información sobre las actividades del proyecto, lo que permitió socializar la información con más de 2,500 personas de diversos niveles educativos, tanto en la ciudad capital como en el interior del país. Se concluye sobre la necesidad de continuar con los estudios fitoquímicos y nutricéuticos de estas especies de hierbas comestibles nativas de Guatemala, que podría ser una fuente de nuevos materiales para desarrollar suplementos alimenticios naturales en el futuro, importantes para combatir la desnutrición crónica en el país.

ABSTRACT

Samples from nine edible native herbs were collected (*Amaranthus hybridus*, *Dysphania ambrosioides*, *Cnidoscolus chayamansa*, *Crotalaria longirostrata*, *Lycianthes synanthera*, *Sechium edule*, *Solanum americanum*, *S. nigrescens* and *S. wendlandii*), two species of cultivated introduced herbs (*Moringa oleifera* and *Spinacea oleracea*), and soil samples. Each species were collected in two regions of the country, in the states of Alta Verapaz, Escuintla, Guatemala, Jalapa, Sacatepequez, Santa Rosa y Suchitepequez. Species were botanically determined and a sample voucher deposited in CFEH Herbarium from Farmaya Natural Products Laboratories. Water content (%) and extraction yield (%) were determined, and samples from dry herb, cooked herb and broth from fresh herb were prepared.

Trace elements (N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn y Mn) were evaluated by atomic absorption spectrometry. In general, trace element contents are diverse, in the case of Zn, control herb (*S. oleracea*) contain a good quantity (90-140 ppm); from native plants, *D. ambrosioides* (130-160 ppm) and *A. hybridus* (70-80 ppm) demonstrated amounts higher than *M. oleifera* (20-25 ppm). The Fe content in control plants were, *S. oleracea* (220-280 ppm) and *M. oleifera* (105-135 ppm); from native plants, *A. hybridus* (90-240 ppm), *C. aconitifolius* (75-185 ppm) and *L. synanthera* (75-140 ppm) had higher concentrations, less than *S. oleracea*, but higher than *M. oleifera*.

Anti-nutritional components were quantified, including tannins by spectrophotometry using tannic acid as control, and oxalates by permanganometry. In oxalates, the highest values were demonstrated in *S. oleracea* (722±6 mg/100 g), *L. synanthera* (678±8 mg/100 g), *S. nigrescens* (455±7 mg/100 g) and *A. hybridus* (362±9 mg/100 g); the content in *M. oleifera* was low (126±10 mg/100 g), in all the herbs analyzed values were <90 mg/100 g. Tannin levels were relatively low (0.1-0.7 mg/100 g) in all the herbs studied.

By thin layer chromatography (TLC) the extracts were phytochemically characterized by four compounds: alkaloids, coumarins, essential oils and flavonoids. The antioxidant activity was evaluated by microcolorimetry of DPPH and total phenolics. In control herbs, DPPH was IC₅₀ 3.5±0.3 µg/ml for *M. oleifera* and IC₅₀ 5.5±6.2 µg/ml for *S. oleracea*; entre las hierbas nativas, *L. synanthera* (CI₅₀ 2.5±1.0 µg/ml) tuvo mejor actividad que los controles, y *S. wendlandii* (CI₅₀ 6.9±0.3 µg/ml), *C. aconitifolius* (CI₅₀ 6.0±1.0 µg/ml) y *S. nigrescens* (CI₅₀ 0.3±3.0 µg/ml), tuvieron valores intermedios. En el caso de fenoles totales, solamente el control de *S. oleracea* demostró actividad (23.33-29.35 mgEq of gallic acid/g of extract), concentration lower than *S. wendlandii* and *S. nigrescens* (28.09-29.29 and 26.10-35.20 mgEq of gallic acid/g of extract).

Requests from 19 events to present the results of the project, allowed socializing the information in more than 2,500 persons from diverse education levels and disciplines, from the capital city and the provinces. It is concluded about the need to continue with the phytochemical and nutraceutical studies of these native nutritive herbs of Guatemala that could be a source of new materials to develop natural food supplements in the future and contribute for fighting against chronic malnutrition in the country.

INDICE

	Pag.
Agradecimientos	ii
Otros agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice	vi
Lista de fotografías	viii
Lista de cuadros	ix
Lista de figuras	x
Lista de abreviaturas	xi
Dimensionales	xiii
 PARTE I. INTRODUCCIÓN	
I.1	1
I.2	3
I.3	3
I.3.1	3
I.3.2	3
I.3.3	3
I.4	3
I.4.1	3
I.4.2	4
I.4.3	4
I.4.4	4
I.4.5	5
I.4.6	9
I.4.7	10
 PARTE II. MARCO TEÓRICO	
II.1	11
II.1.1	12
II.1.2	13
II.1.3	14
II.1.4	16
II.1.5	20
II.1.6	21
II.1.7	24
II.1.8	25
 PARTE III. RESULTADOS	
III.1.	27
III.1.1	27
III.1.2	27

III.1.3	Muestras de herbario	24
III.1.4	Secado de material vegetal	38
III.1.5	Tamizaje fitoquímico	41
III.2	Objetivo 2	44
III.2.1	Determinación del contenido de oligoelementos	44
III.2.2	Determinación de biodisponibilidad de hierro	47
III.2.3	Determinación de la presencia de factores antinutricionales	49
III.2.4	Determinación de la concentración de selenio	56
III.3	Objetivo 3	57
III.4	Objetivo 4	62
III.4.1	Acidez del suelo (pH)	63
III.4.2	Fósforo	64
III.4.3	Capacidad de intercambio catiónico	64
III.4.4	Porcentaje de saturación de bases	64
III.4.5	Clase textural del suelo	64
III.4.6	Discusión de resultados	64
III.5	Objetivo 5	65
III.5.1	Folleto con información popular	65
III.5.2	Actividades de difusión oral	65
III.5.3	Jornada científico-culinaria de difusión entre estudiantes	70
III.5.4	Actividades de difusión escrita o filmada	70

PARTE IV. CONCLUSIONES

IV.1	Conclusiones	76
IV.2	Recomendaciones	78

PARTE V

V.1	Informe financiero	79
V.2	Cronograma	80

PARTE VI

VI.1	Referencias	81
------	-------------	----

ANEXOS

Anexo 1.	Biografía académica del investigador principal	90
Anexo 2.	Plantas alimenticias publicación de Nuestro Diario	91
Anexo 3.	Hierbas alimenticias mesoamericanas y su preparación	92

LISTA DE FOTOGRAFIAS

- Fotografía 1. Colecta de material vegetal en caserío Xejul
- Fotografía 2. Visita al huerto de la familia Pic en la aldea Santo Domingo
- Fotografía 3. Toma de muestra de suelo en Ecoparcela El Kakawatal
- Fotografía 4. Colecta de muestras
- Fotografía 5. Toma de muestras
- Fotografía 6. *Amaranthus hybridus* sxxc
- Fotografía 7. *Crotalaria longirostrata*
- Fotografía 8. *Lycianthes synanthera*
- Fotografía 9. *Moringa oleífera*
- Fotografía 10. *Sechium edule*
- Fotografía 11. *Solanum nigrescens*
- Fotografía 12. *Solanum wendlandii*
- Fotografía 13. *Cnidioscolus aconitifolius*
- Fotografía 14. *Dysphania ambrosioides*
- Fotografía 15. *Spinacea oleraceae*
- Fotografía 16. *Solanum americanum*
- Fotografía 17. Secado de material en LIPRONAT y FARMAYA
- Fotografía 18. Preparación de caldos
- Fotografía 19. Cromatografía en capa fina de flavonoides, aceites esenciales, cumarinas y alcaloides.
- Fotografía 20. Análisis de oligoelementos por absorción atómica
- Fotografía 21. Determinación de biodisponibilidad de hierro por un método macrométrico evaluado por espectrofotometría UV-Vis
- Fotografía 22. Elaboración de la curva de calibración para la cuantificación de taninos por espectrofotometría
- Fotografía 23. Cuantificación de taninos por espectrofotometría
- Fotografía 24. Estandarización de la cuantificación de oxalatos
- Fotografía 25. Extracción y cuantificación de oxalatos
- Fotografía 26. Estudiantes participantes en el Seminario de Tesis sobre determinación de la concentración de selenio con el Asesor
- Fotografía 27. Actividad antioxidante por el método micrométrico de DPPH
- Fotografía 28. Determinación de actividad antioxidante de las hierbas en estudio por la segunda analista, usando el método micrométrico de DPPH
- Fotografía 29. Cuantificación de fenoles por método micrométrico
- Fotografía 30. Armando Cáceres integrando la información recopilada para elaborar la guía del contenido de folleto de difusión y las monografías
- Fotografía 31. Actividades de difusión oral
- Fotografía 32. Armando Cáceres inaugurando el evento científico-culinario de hierbas nativa
- Fotografía 33. Alumnos del curso de Fitoquímica exponiendo el platillo elaborado
- Fotografía 34. Alumnos del curso de Fitoquímica exponiendo el platillo elaborado
- Fotografía 35. Método macrométrico en la determinación de taninos y flavonoides
- Fotografía 36. Cromatoplaca para evaluar la actividad antioxidante por DPPH

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Datos de colecta de las plantas en estudio
- Cuadro 2. Información etnobotánica nutricional de las especies colectadas
- Cuadro 3. Porcentaje de humedad de las especies en estudio
- Cuadro 4. Rendimiento de los extractos acuosos de las especies en estudio
- Cuadro 5. Tamizaje fitoquímico de las hierbas en estudio mediante CCF
- Cuadro 6. Cromatografía de capa fina de las hierbas alimenticias
- Cuadro 7. Contenido de elementos mayores en planta cruda seca, cocida, caldo y suelo
- Cuadro 8. Contenido de elementos menores en planta cruda, seca, cocida y suelo
- Cuadro 9. Estandarización del método para cuantificar la biodisponibilidad de Fe
- Cuadro 10. Determinación de la biodisponibilidad de Fe por espectrofotometría
- Cuadro 11. Cuantificación de taninos por espectrofotometría
- Cuadro 12. Cuantificación de oxalatos por permanganimetría
- Cuadro 13. Estandarización del método micrométrico de actividad antioxidante por DPPH
- Cuadro 14. Actividad antioxidante por el método micrométrico de DPPH
- Cuadro 15. Actividad antioxidante (DPPH y fenoles totales) por un método micrométrico
- Cuadro 16. Análisis de oligoelementos del suelo de los lugares de cultivo
- Cuadro 17. Porcentaje de elementos esenciales en la planta y su forma de absorción
- Cuadro 18. Actividades de difusión en las que se participó por invitación 2013-2014
- Cuadro 19. Tamizaje fitoquímico macrométrico y actividad antioxidante de siete hierbas
- Cuadro 20. Resultado de generación de conocimiento

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización de los lugares de colecta de las especies
Figura 2. Efecto de pH del suelo en la disponibilidad de elementos químicos

LISTA DE ABREVIATURAS

ABTS	Acido 2,2'-azino-bis (3-etil-benzthiazolino-6-sulfónico)
ADN	Acido desoxirribonucleico
AGEXPORT	Asociación guatemalteca de exportadores
ANACAFE	Asociación Nacional de Café en Guatemala
ARNPG	Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala
AO	Antioxidante
CCF	Cromatografía en capa fina
CEMAT	Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Apropriada
CFEH	CEMAT-Farmaya Ethnobotanical Herbarium
CI ₅₀	Concentración inhibitoria media (50%)
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
CIID	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
CIRF	Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
CONAPLAMED	Comisión Nacional para Aprovechamiento de las Plantas Medicinales
CONCYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CCQQ	Ciencias Químicas
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DE	Desviación estándar
DIGI	Dirección General de Investigación
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazilo
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
FAO	Fondo para la Alimentación de las Naciones Unidas
FODECYT	Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico
FUNCAFE	Fundación de la Caficultura para el Desarrollo Rural
GTZ	Sociedad Alemana de Cooperación Técnica
HCl	Ácido clorhídrico
ICNND	Comisión Internacional para el Desarme y la No Proliferación de Armas Nucleares
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
IIQB	Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
IRTRA	Instituto de la Recreación de los Trabajadores de la empresa privada de Guatemala
JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional
KOH	Hidróxido de potasio
LIPRONAT	Laboratorio de Investigación de Productos Naturales
MetOH	Metanol
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Mx	Muestra
NIH	Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos de América
NMR	Resonancia magnética nuclear
NP	Natural products (productos naturales), reactivo para desarrollar cromatoplasmas
OEA	Organización de los Estados Americanos
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OPS	Organización Panamericana de Salud
PEG	Polietilenglicol

PEO/POE	Procedimiento estandarizado de operación
Rf	Ratio of front
RIBIOFAR	Red Iberoamericana de Estudio y Aprovechamiento de la Biodiversidad
STD	Estándar
SB	Coefficiente de variación
TROLOX	ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico
UNICEF	Fondo de la Infancia de las Naciones Unidas
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
UV	Ultravioleta
Vis	Visible
%SB	Porcentaje de saturación base

DIMENSIONALES

µg	Microgramos
µL	Microlitros
µM	micro Molar
°C	grados centígrados
cm ²	centímetros cuadrados
g	Gramos
Kg	kilogramos
Km	Kilómetros
M	Molar
Meq	miliequivalentes
mg	miligramos
min	minutos
mL	mililitro
mm	milímetros
mM	miliMolar
mmHg	milímetros de mercurio
mmol	milimoles
msnm	metros sobre el nivel del mar
nm	nanometros
%p/v	porcentaje peso sobre volumen
ppm	partes por millón
rpm	revoluciones por minuto
seg	segundo
N	normal
hg	hectogramo
µg/mL	microgramo sobre litro
L	Litro
mol/L	mol sobre litro
mgEq	miligramos equivalentes

PARTE I.

I.1 INTRODUCCIÓN

La salud y bienestar de los niños y adultos depende en gran medida de la interacción entre su potencial genético y los factores exógenos como una adecuada nutrición, ambiente seguro, interacción social y estímulo. Los micronutrientes juegan un papel importante en la producción de enzimas, hormonas y otras sustancias, así como contribuyen a regular las actividades de crecimiento, desarrollo y funcionamiento de los sistemas inmune y reproductivo. La deficiencia de micronutrientes se ha considerado como un factor de riesgo mayor en la sobrevivencia de los niños, aumenta el riesgo de muerte por enfermedades comunes, tales como gastroenteritis, neumonía y sarampión.

Las prácticas dietéticas más frecuentemente observadas en niños de los países desarrollados y en desarrollo, como el consumo frecuente de alimentos pobres en valor nutritivo (alimentos no sanos) y el rechazo de ingerir vegetales de hojas verdes y frutas, comprometen severamente el consumo de micronutrientes, tales como Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Se, vitamina A y folatos. El consumo de estos micronutrientes podría prevenir el apareamiento de las infecciones del día a día de los niños, permitiéndole a la sociedad crecer niños más sanos que tengan un desarrollo humano óptimo (Ekweagwu, Agwu, & Madukwe, 2008).

Una de las opciones más frecuentemente utilizadas para compensar estos microelementos deficitarios ha sido la fortificación de los alimentos, pero en el caso del Fe la experiencia nacional no ha sido satisfactoria, mientras que en el caso de Zn no existe ningún programa específico de fortalecimiento. La evaluación del contenido de oligoelementos en hierbas de uso tradicional y su biodisponibilidad por técnicas de laboratorio o por evidencia de agentes anti-nutricionales, que fue llevada a cabo en el presente proyecto y cuya información generada será de gran utilizada para recomendar su uso en programas de huertos familiares o similares que contribuyan a disminuir la desnutrición infantil crónica en zonas vulnerables.

El presente documento informa sobre el proyecto de investigación ejecutado por profesores e investigadores de la Facultad de CCQQ y Farmacia para coleccionar, caracterizar, extraer, analizar los extractos por procedimientos bromatológicos y fitoquímicos y por bioensayos de actividad antioxidante y socializar la información obtenida por revisión de literatura y como resultado de la investigación. Los datos generados contribuirán a valorar las hierbas nativas de uso alimenticio para aumentar la disponibilidad y acceso a alimentos sanos y con propiedades funcionales.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La salud y bienestar de la población depende de la interacción entre su potencial genético y los factores exógenos como una adecuada nutrición, ambiente seguro, interacción social y estímulo. Si bien los macronutrientes son los principales alimentos cuantitativamente y por ende los principales deficitarios en la desnutrición aguda, los micronutrientes juegan un papel importante en la desnutrición crónica, al ser los responsables de la producción de enzimas y hormonas, así como contribuir a regular las actividades de crecimiento, desarrollo y funcionamiento de los sistemas inmune y reproductivo. La deficiencia de oligoelementos

nutricionales se considera como un factor de riesgo mayor en la sobrevivencia de los niños, porque aumenta el riesgo de muerte por enfermedades comunes y retarda su crecimiento.

Las prácticas dietéticas más frecuentemente observadas son alimentos pobres en valor nutritivo (alimentos no sanos) y el rechazo de ingerir vegetales de hojas verdes y frutas, comprometen severamente el consumo de micronutrientes, tales como los elementos y vitaminas. La dieta tradicional del guatemalteco está ligada a la biodiversidad que nos rodea, aunque con la llegada de la alimentación procesada, se ha deteriorado la costumbre de ingerir alimentos del entorno, siendo una prioridad el rescate de esta sabiduría amenazada. Para nadie es un secreto el valor que las poblaciones tradicionales y pobres dan a la ingesta de “hierbitas”, tanto cuando las condiciones económicas o ambientales son adversas, como cuando se desea recuperar a un paciente después de una enfermedad o se desea prevenir el apareamiento de síntomas de desnutrición crónica.

Este proyecto logró coleccionar nueve especies de hierbas de la biodiversidad nacional *A. hybridus*, *D. ambrosioides*, *C. chayamansa*, *C. longirostrata*, *L. synanthera*, *S. nigrescens*, *S. edule*, *S. americanum* y *S. wendlandii*, seleccionadas por ser utilizadas en forma tradicional por las poblaciones más desprotegidas del país, y dos especies de origen extranjero tales como *M. oleifera* y *S. oleraceae*; además se evaluar el contenido de oligoelementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre zinc, hierro y manganeso los cuales son deficientes en la dieta del guatemalteco y sus niveles no alcanzan los óptimos, la biodisponibilidad del Fe vegetal contenido, y la actividad antioxidante para prevenir el deterioro corporal y anti-nutricional, que impide la adecuada absorción de los micronutrientes, así como el análisis de suelo y foliar de los materiales colectados. Si bien en varias de estas hierbas se han realizado análisis bromatológicos anteriormente y en tres se ha cuantificado el contenido de algunos oligoelementos, en este proyecto se logró evaluar el contenido de oligoelementos en todas y se evaluó por primera vez la disponibilidad de Fe por un método de laboratorio.

Para llevarlo a cabo, se realizó una alianza entre las Facultades de Ciencias Químicas y Farmacia y Agronomía de la Universidad de San Carlos para disponer de los equipos con los cuales cuentan dichas unidades, aprovechar el conocimiento de sus profesores, implementando los procedimientos necesarios, para entrenar al personal involucrado y determinando cuantitativamente los oligoelementos nutricionales y funcionales de las hierbas escogidas.

Los resultados obtenidos, han sido utilizados para llevar a cabo recetas culinarias, acorde a la muestra que presentó mejor aprovechamiento de los oligoelemento de parte del organismo y a la vez proponiendo a los programas de Seguridad Alimentaria insumos basados en la tradición, que podrían ser cultivados o recolectados por los grupos rurales.

I.3 OBJETIVOS E HIPOTESIS

I.3.1 Objetivo general

Evaluar el contenido y disponibilidad de oligoelementos (Mg, Cu, Zn, Fe y Mn) en hojas de vegetales nativos de uso tradicional en la alimentación del guatemalteco y la presencia de agentes antioxidantes y antinutricionales.

I.3.2 Objetivos específicos

- I.3.2.1 Seleccionar, coleccionar y procesar ocho especies de hierbas nativas de uso alimenticio tradicional en Mesoamérica y dos de amplio uso internacional.
- I.3.2.2 Cuantificar los niveles de oligoelementos (Mg, Cu, Zn, Fe y Mn) presentes en la hierba seca y el cocimiento de las especies, la biodisponibilidad de hierro y la presencia de compuestos antinutricionales como taninos y oxalatos.
- I.3.2.3 Determinar la actividad antioxidante de los alimentos colectados por las técnicas de DPPH y fenoles totales por métodos micrométricos.
- I.3.2.4 Comparar el análisis foliar y del suelo para demostrar los elementos que se están extrayendo del suelo y correlacionar su composición.
- I.3.2.5 Difundir la información generada mediante la preparación de un informe técnico científico, un folleto con la información popular de cada especie, una reunión con grupos de base para informar de los resultados y propiciar la participación en eventos públicos para estimular el consumo de estas hierbas a diversos niveles.

I.3.3 Hipótesis

A pesar de tratarse de una investigación descriptiva y de caracterización de extractos vegetales, se postulan unas hipótesis de trabajo para orientar las acciones y evaluar el alcance de resultados, esta es: Dos hierbas nativas tienen una composición de oligoelementos igual o superior a hierbas comestibles de consumo internacional con bajos contenidos de factores antinutricionales.

I.4 METODOLOGÍA

I.4.1 Descripción del lugar donde se realizó la investigación

El trabajo se desarrolló en 16 localidades de siete departamentos del país (Alta Verapaz, Escuintla, Guatemala, Jalapa, Sacatepéquez, Santa Rosa y Suchitepéquez), donde se llevó a cabo la colecta de material biológico bajo manejo o silvestre y su localización se describe en el capítulo correspondiente.

El material vegetal fue lavado y oreado en el lugar de colecta, luego procesado en el Laboratorio de Productos Naturales Farmaya (Av. Centroamérica 18-92 zona 1, ciudad de Guatemala, 14°37'52.6"N y 090°31'19.2"O) y trasladado a los laboratorios de la Facultad de CCQQ y Farmacia de la USAC, en la Ciudad Universitaria zona 12; LIPRONAT, en el edificio T-10 cuyas coordenadas geográficas son: 14°35'05.5"N, 090°33'16.0"O y altura de 1498 msnm. Los datos climatológicos son: Temperatura promedio anual: 19.5°C; T máxima: 25.5°C; T mínima 15.3°C; T máxima absoluta: 31.5°C; T mínima absoluta: 9.06°C; precipitación pluvial: 1,198.7 mm/año; humedad relativa: 78%; brillo solar/hora: 205.7; radiación solar: 1.3 cal/cm²/min; presión atmosférica: 639.5 mm/Hg; velocidad del viento: 17.7 km/hora.

I.4.2 Variables

- I.4.2.1 Variable dependiente: El contenido de oligoelementos, nutrientes y antinutrientes, y metabolitos secundarios de interés en los diversas hierbas comestibles en estudio.
- I.4.2.2 Variable independientes: La actividad antioxidante, absorción de Fe y biodisponibilidad de oligoelementos de las muestras obtenidas, evaluada por métodos analíticos de diferentes principios fitoquímicos.

I.4.3 Indicadores

- I.4.3.1 Colección de 21 muestras botánicas georeferenciadas depositadas en herbario CFEH de Laboratorios Farmaya con número de ingreso específico.
- I.4.3.2 63 muestras obtenidas de las colectas, tales como planta seca, planta cocida seca y caldo.
- I.4.3.3 Cuatro POE's de los procedimientos para análisis foliar y de suelos, cuantificación de taninos, cuantificación de oxalatos y biodisponibilidad de Fe.
- I.4.3.4 Concentración de taninos y oxalatos como factores antinutricionales, en un gramo de muestras de hierba seca, cocida-seca y caldo.
- I.4.3.5 Concentración de fenoles totales, inhibición de la concentración al 50% de DPPH por método micrométrico.
- I.4.3.6 Cantidad de oligoelementos como N, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn, Fe y Mn disponibles en las muestras de hierbas.
- I.4.3.7 Contenido de oligoelementos en hojas y suelo, para comparar la cantidad absorbida de nutrientes del suelo por la planta.
- I.4.3.8 Concentración de hierro absorbible y no absorbible.
- I.4.3.9 Indicación de la presencia de metabolitos secundarios por ensayos fitoquímicos.
- I.4.3.10 Organización de un evento nacional para capacitación y difusión de los resultados del proyecto y otros resultados relevantes de las especies de hierbas comestibles en estudio.
- I.4.3.11 Manual "Hierbas alimenticias Mesoamericanas y su Preparación".

I.4.4 Estrategia metodológica

- I.4.4.1 Se colectaron las muestras en diversas áreas geográficas y climáticas del país, dos regiones por especie, con el fin de conocer la composición de las plantas.
- I.4.4.2 Se generó información biológica y fitoquímica sobre las especies colectadas con el fin de

difundir la información y propiciar su desarrollo por los sectores académicos y rurales.

- I.4.4.3 Se llevó a cabo la capacitación del personal de laboratorio, para llevar a cabo los diversos ensayos, y se montaron los ensayos, elaborando al mismo tiempo los procedimientos estándares de operación de los que no habían sido montados antes en Guatemala.
- I.4.4.4 Se cuantificaron los antinutrientes presentes en las hierbas en estudio a través de métodos macrométricos tanto de valoración retrospectiva como de espectrofotometría.
- I.4.4.5 Se determinó la actividad antioxidante en las especies evaluadas por métodos micrométricos para moléculas polares.
- I.4.4.6 Se cuantificaron oligoelementos presentes en las muestras por medio de técnicas espectrofotométricas de absorción atómica.
- I.4.4.7 Se llevó a cabo el análisis foliar, los análisis de suelos incluyeron los mismos oligoelementos evaluados en las hojas, además de pH, saturación de bases, materia orgánica, arcilla, limo y arena, así como se clasifica la clase textural.
- I.4.4.8 Se determinó la biodisponibilidad de hierro, mediante la metodología de diálisis y posteriormente cuantificación espectrofotométrica.
- I.4.4.9 La presencia de metabolitos secundarios se identificó cualitativamente por ensayos fitoquímicos para establecer la relación con la actividad antioxidante y cuantitativamente se obtuvo resultados por métodos micrométricos para cada una de las especies evaluadas.
- I.4.4.10 Se amplió la información generada en Guatemala, con estudios de cooperación realizados en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

I.4.5 Métodos

I.4.5.1 Universo de trabajo

Se tiene como universo de trabajo la presencia de 21 especies detectadas de donde se escogieron por que han presentado algún impacto nutricional en estudios anteriores nueve especies nativas de nuestra provincia biogeográfica y se incluyeron dos especies como parámetros de comparación, de alto consumo mundial.

Especies nativas: *A. hybridus*, *D. ambrosioides*, *C. chayamansa*, *C. longirostrata*, *L. synanthera*, *S. nigrescens*, *S. edule*, *S. americanum* y *S. wendlandii*. Especies extranjeras: *M. oleífera* y *S. oleraceae*.

1.4.5.2 Obtención de material vegetal (delimitación de la población)

Se estudió la información de cada especie, particularmente los estudios biológicos, químicos, nutricéuticos y otras informaciones relevantes presentadas en las monografías, para la documentación de las once especies a estudiar. El material vegetal provino de poblaciones cultivadas en condiciones específicas o bien en área bajo manejo o silvestres, el cual fue

determinado por un asistente y confirmado en el Herbario del Laboratorio Farmaya (CFEH).

El modelo de muestreo fue de tipo estratificado, preferencial y por conveniencia. Los estratos (asociaciones vegetales homogéneas) fueron definidos por contactos previos y también encontrados al momento de realizar la colecta. Conforme a la naturaleza de la parte a estudiar de cada especie se obtuvo una muestra representativa de 4-8 Kg de material vegetal que fueron sometidos a las pruebas de laboratorio (secado, cocción, determinación del % de humedad, cuantificación de oxalatos y taninos, cuantificación de oligoelementos, determinación de actividad antioxidante y cuantificación de fenoles totales, determinación de la biodisponibilidad de hierro y estudio fitoquímico). Las muestras fueron procesadas conforme a técnicas convencionales de secado y molienda. El almacenamiento, embalaje y transporte se realizó conforme a los principios aceptados de buenas prácticas de cultivo y postcosecha.

Se prepararon tres tipos de muestra por cada especie, y por área de colecta, de la siguiente forma: se pesaron aproximadamente 100 g del material vegetal fresco, y se cocinaron en un litro de agua hasta hervir durante cinco minutos para preparar los caldos; para preparar la materia vegetal seca, se colocaron al menos 2 kg de materia vegetal entera en el horno, a 40°C, hasta que presentara un % de humedad menor al dos por ciento; para preparar la hierba cocida y seca, se extrajo la hierba con que se elaboraron los caldos, y se colocó en el deshidratador de alimentos hasta que presentaron humedad menor al 10%.

I.4.5.3 Cuantificación de taninos:

Se pesó 1 g de muestra vegetal, a la que se le agregaron 20 mL de dimetilformamida, se agitó constantemente durante una hora, para luego centrifugar las muestras durante 10 min, del sobrenadante se prepararon dos disoluciones A y B, para la disolución A se mezcló 1 mL de sobrenadante con 6 mL de agua desmineralizada y 1 mL de solución amoniacal; para la disolución B se mezcló 1 mL de sobrenadante con 5 mL de agua desmineralizada y 1 mL de citrato férrico. Se dejó reposar durante 10 min, y posteriormente se midieron las absorbancias de las disoluciones A y B a 525 nm en el espectrofotómetro. Luego se procesó el resultado de la concentración de taninos, mediante la ecuación obtenida de una curva de calibración., tomando en cuenta que la disolución A se le resta a la B.

I.4.5.4 Cuantificación de oxalatos:

Se colocaron 10 g de muestra en 200 mL de agua destilada en vaso de Berzelius, se agitó durante 15 min, se agregaron 100 mL de agua destilada y 55 mL de HCl 6N, se sometió a reflujo durante 25 min y al enfriarse se aforaron las soluciones a 500 mL con agua desmineralizada; se dejaron reposar toda la noche, se filtraron y se descartaron los primeros 100 mL de muestra, se agregaron 25 mL del filtrado en un vaso, en donde posteriormente se le agregó 5 mL de ácido fosfotúngstico, se reposaron las soluciones durante 5 h, se filtraron, se tomó una alícuota de 20 mL, y se ajustó el pH de 4-4.5 con amonio concentrado; se agregaron 5 mL de solución tampón de acetatos, conteniendo 0.45 mol/L saturada con CaCl₂, se dejó reposar durante la noche. Al día siguiente se centrifugaron las muestras a 1,700 rpm, se lavó con una solución de ácido acético 0.45 mol/L saturada con CaCl₂, descartando el sobrenadante, el precipitado se disolvió en 35 mL de agua, conteniendo 1 mL de H₂SO₄ concentrado, para luego titular la solución que tiene que encontrarse entre 60-70°C, con una solución estándar de KMnO₄ 0.1 N, hasta que la solución vire a

color violeta, y permanezca de ese color durante 15 seg.

I.4.5.5 Evaluación de la actividad antioxidante por DPPH.

I.4.5.5.1 Método de CCF: Se aplicaron 10 μL de muestra y 5 μL de los estándares rutina, quercetina, vitamina C, Trolox y ácido clorogénico, (1 mg/mL) en una placa cromatográfica de silica gel 60F₂₅₄. Se colocó la placa en una cámara de vidrio saturada previamente con acetato de etilo: ácido acético: ácido fórmico:agua (100:11:11:26). Se secó y asperjó con DPPH (1 mg/mL en metanol). Interpretación: Los extractos con actividad anti-oxidante presentan decoloración del DPPH en las bandas respectivas (Medinilla, 1996).

I.4.5.5.2 Método micrométrico: Con pipetas automáticas se preparó una serie de pozos que contienen: muestra, metanol y solución de DPPH 500 μM . Se peso 0.5 g de material vegetal, y se diluyó en 5 mL de metanol y se agitó vigorosamente hasta extraer metabolitos completamente. Antes de realizar la curva de lectura se realiza una lectura directa del extracto, así:

Pozo 1, blanco control, se agregó 50 μL de metanol;
 Pozo 2, control, se agregó 150 μL de solución de DPPH;
 Pozo 3, blanco ensayo 1, se agregó 50 μL de muestra;
 Pozo 4, ensayo 1, se agregó 50 μL de muestra y 150 μL de solución de DPPH;
 Pozo 5, blanco ensayo 2, se agregó 15 μL de muestra y 35 μL de metanol;
 Pozo 6, ensayo 2, se agregó 15 μL de muestra, 35 μL de metanol y 150 μL de DPPH.

Se calculó el porcentaje de inhibición entre el 70 y 100% y se realizó la curva de lectura; con valores mayores se realizaron diluciones del extracto. Se preparó una curva de lectura con ocho pozos de reacción utilizando para cada pozo el blanco respectivo. La muestra y reactivos para cada pozo siguen las siguientes proporciones:

Pozo 1: 50 μL de muestra y 150 μL de solución de DPPH;
 Pozo 2: 45 μL de muestra, 5 μL de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 3: 40 μL de muestra, 10 μL de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 4: 35 μL de muestra, 15 de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 5: 30 μL de muestra, 20 μL de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 6: 25 μL de muestra, 25 μL de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 7: 20 μL de muestra, 30 de metanol y 150 μL de solución de DPPH
 Pozo 8: 15 μL de muestra, 35 μL de metanol y 150 μL de solución de DPPH

A cada pozo se le hizo el respectivo blanco el cual incluye la misma cantidad de muestra y metanol. La microplaca se agitó en un vortex para placas durante 30 s y se incubó a temperatura ambiente protegiéndolas de la luz durante 30 min. Se leyó en un fotómetro de microplacas a 490 nm. Para calcular el porcentaje de inhibición de cada pozo se utilizó la fórmula: (Absorbancia del control–Absorbancia del ensayo)/ Absorbancia del control*100.

Con los valores de % de inhibición de la curva de lectura (Y) y la concentración aproximada (X) se realizó la regresión lineal y se calculó el valor de r^2 , el cual debe ser lo más cercano posible a 1 para tomar como válida la curva realizada.

I.4.5.6 Determinación de los compuestos fenólicos.

I.4.5.6.1 Método de CCF: Se extrajo 1 g de material pulverizado con 10 mL de metanol por 5 min en baño de María a 60°C; se filtró y aplicó sobre cromatoplasmas de silicagel 60 F₂₅₄. Como estándar se utilizó la solución de flavonoides (quercetina, rutina, ácido clorogénico, hiperósido) al 0.05% en metanol (10 µL). Fase móvil: acetato de etilo-ácido fórmico-ácido acético-agua (100:11:11:27). Detección: Sin tratamiento químico: UV 254 nm fluorescencia, zonas azules o amarillas. UV 365 nm, dependiendo de la estructura, fluorescen amarillo, azul o verde. Reactivo de Productos Naturales (NP/PEG). Fluorescencia intensa en UV-365 nm. Solución 1: solución metanólica al 1% de difenilboriloxietilamina (NP). Solución 2: solución etanólica al 5% de polietilenglicol 4000 (PEG). Aplicar a la placa vapores de amoníaco para intensificar el color de las manchas.

I.4.5.6.2 Método micrométrico: Se preparó una curva patrón con ácido gálico disuelto en agua (50, 250, 500, 1000 y 1500 mM). En una placa de 96 micropozos se colocó el blanco de reacción en el primer pozo con 25 µL de metanol, en los siguientes 5 pozos se colocaron las diluciones para la curva patrón de ácido gálico, en los siguientes pozos se colocaron 25 µL de los extractos, y luego a todos los pozos se agregó 50 µL de reactivo de Folin y 200 µL de Na₂CO₃ 700 mM. Se mezcló bien la placa y se incubó durante 30 min a temperatura ambiente. Se realizó la lectura en un espectrofotómetro de microplacas a 630 nm. Utilizando una curva patrón se calculó la concentración de compuestos fenólicos totales expresados como equivalentes de ácido gálico/g de peso seco (Waterhouse, 2007).

I.4.5.7 Biodisponibilidad de hierro

Esta metodología se base en la descrita por Miller, Schricker, Rasmussen y Van Campen (1981), modificado por Sotelo, González-Osnaya, Sánchez-Chinchillas y Trejo (2010). Se pesaron 10 g de muestra seca, se agregaron 100 mL de agua desmineralizada, se ajustó el pH de disolución entre 1.8-2.0 con HCl 6N. Se agregaron 5 mL de solución de pepsina, se agitó, se incubaron las soluciones durante 2 h a 37°C, se mantuvo en agitación constante, se agregaron 70 mL de agua desmineralizada en un vaso de precipitar, transferir una alícuota de 30 mL del material digerido al vaso de precipitar que contiene el agua desmineralizada. Agregar el contenido en digestión dentro del tubo de diálisis, y luego introducir en el beaker, incubar a 37°C con agitación constante hasta alcanzar pH 5, agregar 5 mL de solución de pancreatina bilis, reincubar durante 2 h, luego transferir a vasos de precipitar de 50mL de capacidad agregar agua desmineralizada y 1.5mL de HCl 1N. Ajustar volumen a 25mL tomar una alícuota de 10mL agregar 1mL de cloruro de hidroxilamina, agregar 5mL de amortiguador de fosfatos y luego 1 mL de orto-fenantrolina, reposar de 10-15 min, y finalmente se leyó en un espectrofotómetro a 530 nm.

I.4.5.8 Investigación de flavonoides

Método CCF: Se extrajo 1 g de material pulverizado con 10 mL de metanol por 5 min en baño de María a 60°C; se filtró y aplicó sobre cromatoplasmas de silicagel 60 F₂₅₄. Como estándar se utilizó la solución de flavonoides (quercetina, rutina, ácido clorogénico, hiperósido) al 0.05% en metanol (10 µL). Fase móvil: acetato de etilo-ácido fórmico-ácido acético-agua (100:11:11:27), n-butanol-ácido acético-agua (40:10:50); acetato de etilo-ácido fórmico-ácido acético-etilmetilcetona-agua (50:7:3:30:10). Detección: Sin tratamiento químico: UV 254 nm fluorescencia, zonas

azules o amarillas. UV 365 nm, dependiendo de la estructura, fluorescen amarillo, azul o verde. Reactivo de Productos Naturales (NP/PEG). Fluorescencia intensa en UV-365 nm.

Solución 1: solución metanólica al 1% de difenilboriloxietilamina (NP).

Solución 2: solución etanólica al 5% de polietilenglicol 4000 (PEG). Aplicar a la placa vapores de amoníaco para intensificar el color de las manchas.

I.4.5.9 Caracterización del aceite esencial

I.4.5.9.1 Método A: Se extrajo 1 g de material vegetal pulverizado con 10 mL de diclorometano agitando por 15 min. Se filtró y evaporó en baño de María (60°C) a sequedad. Disolver en 1 mL de tolueno y aplicar 20-50 µL en cromatoplaca de silicagel 60 F₂₅₄.

I.4.5.9.2 Método B: Se pesan 10-50 g de material vegetal y destilar con arrastre de vapor por 1 hora. Recolectar el aceite en xileno. Diluir la solución de aceite en xileno con tolueno 1:5 o si es muy concentrada 1:10 y aplicar 5 µL (1:10) en cromatoplaca de silicagel 60 F₂₅₄. Estándar: solución de tolueno 1:30 de mentol, timol, anisaldehído, anetol, 1,8-cineol (3 µL). Fase móvil: tolueno-acetato de etilo (93:7). Detección: anisaldehído-H₂SO₄, vanillina- H₂SO₄. Zonas azules verdes, rojas y cafés en visible.

I.4.5.10 Investigación de cumarinas

Método de CCF: A 1 g de material vegetal se le adicionó 10 mL de metanol y se calentó 30 min en baño de María. Se filtró y evaporó hasta 1 mL. Se aplicaron 20 µL en una cromatoplaca de sílica gel 60 F₂₅₄. Estándar: canela en metanol al 1%, umbeliferona, ácido p-cumárico, cumarina). Fase móvil: Tolueno-acetato de etilo (93:7); tolueno-éter (1:1 saturado con 10% de ácido acético, 50 mL de tolueno y 50 mL de éter son mezclados durante 5 min con 50 mL de ácido acético al 10%, se filtra y se descarta la fase de abajo, y se usa la mezcla de tolueno-éter).

Detección: Sin tratamiento químico UV 254 nm fluorescencia. UV 365 nm todas las cumarinas muestras una intensa fluorescencia azul o verde- azul. Solución etanólica de hidróxido de potasio al 5-10%. UV-365 nm fluorescencia azul o verde.

I.4.5.11 Investigación de alcaloides

I.4.5.11.1 Método general de CCF: 1 g de material vegetal seco y molido, se agregó 1 mL de hidróxido de amonio al 10% (p/v) y se extrajo con 5 mL de metanol. Colocar en baño de María a 60°C durante 5 min. Filtrar y concentrar. Aplicar en una placa de sílica gel 60 F₂₅₄, utilizando como estándar una solución de atropina y papaverina al 1% en metanol (10 µL). Fase móvil: Tolueno-acetato de etilo-dietilamina (70:20:10). Detección: Sin tratamiento químico: UV 254 nm fluorescencia, UV 365 nm algunos fluorescencia azul o amarillo. Reactivo de Dragendorff: Zonas cafés o naranjas en visible, los colores no son estables.

I.4.6 Técnica estadística

I.4.6.1 Diseño de análisis

I.4.6.1.1 Tipo de estudio: Experimental de una fase

I.4.6.1.2 Diseño estadístico factorial de dos factores.

I.4.6.1.3 Factores

Parámetro de determinación: Cuatro fracciones de siete especies vegetales en estudio

Se realizaron 544 tratamientos (siete niveles y cuatro tratamientos de primer factor por tres niveles y dos tratamientos del segundo factor) que se establecieron por la combinación de los dos factores mencionados anteriormente.

Cada uno de los extractos obtenidos fue determinado en cada parámetro cinco veces para los cuatro parámetros antes mencionados. Estos últimos fueron tabulados y expresados de la siguiente forma:

- Cuantificación de fenoles totales micrométrico expresado como μg equivalentes de ácido gálico/mg de extracto seco.
- Investigación de flavonoides y antocianinas por presencia de bandas (CCF)
- Caracterización de aceite esencial por presencia de bandas (CCF)
- Investigación de cumarinas por presencia de bandas (CCF)
- Investigación de alcaloides por presencia de bandas (CCF)
- Cuantificación de taninos por cuantificación por medio de valoración, obteniendo mg de taninos por g de planta.
- Cuantificación de oxalatos por medio de espectrofotometría obteniendo mg de oxalatos por g de planta.
- Cuantificación de hierro disponible, obtenido por mg de hierro absorbidos por g de planta.

I.4.6.2 Análisis estadístico:

Por ser un proyecto descriptivo, el análisis estadístico se circunscribió a la toma de resultados, organización en hojas de trabajo, preparación de tablas de resultados y análisis de promedio y desviación estándar.

I.4.7 Instrumentos

I.4.7.1 Equipo:

Las instituciones participantes aportaron el siguiente equipo:

I.4.7.1.1 El LIPRONAT está equipado para realizar secado (horno de convección, deshidratador), molienda, balanzas analíticas y de humedad, asperjadores, refractómetro, espectrofotómetro UV-Vis y computadora) determinar actividad antioxidante por ensayos micrométricos (microcolorímetro de microplacas, impresora, incubadora, pipetas automáticas y balanzas analíticas.

I.4.7.1.3 Los Laboratorio Farmaya aportó el material de su Centro de Información especializado, los contactos de su red de proveedores rurales, secadores solares y de convección, herbario, incubadoras, autoclave, balanza de humedad y campana microbiológica, además del material vegetal utilizado para obtener los extractos.

I.4.7.1.4 La Facultad de Agronomía aportó los análisis de oligoelementos presentes tanto en las hierbas y sus extractos como en las muestras de suelo, usando para ello un espectrofotómetro de absorción atómica y la cristalería y materiales especializados necesarios para poder preparar las muestras y realizar los análisis.

Para la mayoría de procedimientos que se desarrollaron en el proyecto cada una de las instituciones participantes tenía el equipo (espectrofotómetro ultra violeta visible, estufa, refrigeradora, deshidratador de alimentos, agitadores magnéticos, incubadora), la cristalería (vasos de precipitar, pipetas, matraces, refrigerantes, pipetas), los materiales (guantes, puntas plásticas descartables, microplacas) y los reactivos (disolventes, estándares) necesarios que fueron repuestos o complementados con el material adquirido con los fondos del proyecto.

PARTE II. MARCO TEORICO

II.1 Fundamento teórico de la bioactividad a estudiarse:

Guatemala está considerado uno de los peores países en lo referente a desnutrición crónica, por un lado por la desigual distribución de la riqueza, recursos y servicios, pero por el otro porque además de la desnutrición aguda severa por deficiencia proteínico-calórica, es evidente la desnutrición crónica, la cual no solo consiste de la falta de alimentos, sino también la falta de los alimentos adecuados, que incluyen los micronutrientes para mantener un niño sano, siendo el único país en América Latina que falló en el propósito global de disminuir la desnutrición en la última década (Loewenberg, 2009).

El bienestar de una población dependerá del potencial genético y de algunos factores como la adecuada nutrición, una buena interacción social; se debe de tomar en cuenta que alimentación no es lo mismo que nutrición, ya que nutrirse requiere que los macronutrientes de los alimentos principales sean los cuantitativamente necesarios para un buen desarrollo del ser humano, ya que por medio de ellos se desarrolla bien el cuerpo y otras funciones importantes. Entre menor sea la cantidad de macronutrientes que absorben las personas, mayor será el riesgo de adquirir enfermedades.

Algunas dietas comunes, se caracterizan por el exceso en el consumo de carbohidratos, pobres en valor nutritivo, y la escasa ingestión de frutas y verduras, lo que disminuye la cantidad de micronutrientes disponibles. En la actualidad se abusa del consumo de alimentos procesados, a sabiendas que dichos procesos disminuyen el valor nutricional de los mismos, y es por eso que se debe de aprovechar el uso de hierbas, particularmente las nativas, debido a que según evaluaciones químicas y bioactivas son las que contienen estos componentes en forma natural y fácilmente disponible.

Las prácticas dietéticas que acostumbran los seres humanos de países en desarrollo, son el consumo de alimentos no sanos y el rechazo de ingerir vegetales y frutas, lo que disminuye el consumo de micronutrientes como Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Se, vitamina A y folatos. Si la población obedeciera acerca del aumento del consumo de frutas y verduras, las personas se desarrollarían mejor y sin tantas enfermedades. (Ekweagwu, Agwu, & Madukwe, 2008).

Los escasos programas de gobierno o privados para superar esta crisis se han concentrado en la producción de cereales para proveer proteína y calorías, o bien la intervención asistencialista con alimentos importados que aumenta la dependencia nacional y vulnera la seguridad alimentaria, pero poco se está haciendo para mejorar la ingesta de alimentos ricos en micronutrientes, que pueden ayudar a compensar las deficiencias de la desnutrición crónica. La conceptualización y aprovechamiento de las hierbas silvestres comestibles podrían ser de amplia utilidad, tanto por el mejoramiento de la dieta de los habitantes de “áreas marginales” como para fortalecer la conservación y pérdida de la biodiversidad, como ha sido propuesto y puesto en práctica en Sudáfrica (Dovie, Shackleton, & Witkowski, 2007).

El término “hambre oculta” se ha usado para describir la desnutrición de micronutrientes inherente en las dietas humanas que si bien son adecuadas en calorías, tienen deficiencias en vitaminas y/o elementos minerales. La falta de los minerales esenciales en la dieta humana puede afectar la salud, desarrollo y longevidad de los seres humanos (White & Broadley, 2009).

Una opción viable para contribuir a aliviar este problema ha sido la detección, conservación, producción y aprovechamiento de los recursos fitogenéticos del país, esfuerzos que han sido ampliamente estimulados por trabajos realizados por la Facultad de Agronomía, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) y el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF), particularmente fomentando el uso de varias de las especies incluidas en este proyecto, como hierba mora, chipilín y amaranto (Azurdia, 1995; Martínez, 1993, 2006).

II.1.1 Requerimientos minerales por los humanos:

El ser humano requiere por lo menos 22 elementos minerales para su bienestar, los cuales solo pueden ser aportados por una dieta apropiada. A pesar de la aparente disponibilidad de estos minerales en los alimentos, se estima que un 60% de la población mundial tiene deficiencias de Fe, 30% de Zn y I, y 15% de Se, además de deficiencias específicas de Ca, Mg, Cu y Mn en países en desarrollo específicos, considerándose un problema muy serio a nivel mundial, a pesar que el Consenso de Copenhague en 2004 lo considera un problema evitable.

Estas deficiencias se deben en parte a la falta de biodisponibilidad de los elementos en el suelo, pero también puede ser combatida mediante la diversificación alimenticia, aumentando el consumo de minerales provenientes de los vegetales, tanto aquellos obtenidos en forma silvestre, como los obtenidos mediante programas de biofortificación. Para que la biodisponibilidad de los minerales de los alimentos sea efectiva es necesario aumentar la concentración de sustancias “promotoras” como ascorbatos, β -caroteno, polipéptidos ricos en cisteína y ciertos amino ácidos que estimulan la absorción por el intestino de los elementos minerales esenciales, así como reducir la concentración de “anti-nutrientes”, tales como oxalatos y taninos, que interfieren con la absorción intestinal. Se acepta que los elementos minerales más frecuentemente deficientes en los humanos son Fe, Zn, Cu, Ca, I y Mg, Se (White et al., 2009).

Los vegetales son capaces de adquirir los minerales solamente a través de formas químicas específicas. Los elementos minerales pueden estar presente en la naturaleza en forma de iones libres o como iones absorbidos en superficies orgánicas o minerales, como compuestos disueltos o precipitados, como parte de las estructuras o en la biota del suelo. Las propiedades del suelo más

importantes que controlan la disponibilidad mineral son el pH del suelo, las condiciones redox, la capacidad de intercambio catiónico, la actividad microbiana, la estructura del suelo, la materia orgánica y el contenido de agua.

II.1.2. La desnutrición por oligoelementos

El enfoque integral de la nutrición debe ser atendido en toda la vida reproductiva de la mujer, incluso antes de estar embarazada. La deficiencia de micronutrientes se ha visto asociada a diferentes riesgos que tienen que ver con defectos estructurales fetales. La suplementación multivitamínica en el embarazo ha probado ser muy efectiva para prevenir diversos problemas de salud, como la reducción de los recién nacidos con peso bajo, los pequeños para edad gestacional, así como la disminución de una serie de malformaciones congénitas, como los defectos del tubo neural, defectos cardiovasculares, paladar hendido y anomalías del tracto urinario. No se encuentra beneficios en la protección de defectos genéticos, como el síndrome de Down, y tampoco parece que tienen alguna influencia en la mortalidad perinatal (Ciudad Reynaud, 2014).

El tema de la desnutrición por falta de oligoelementos ha despertado el interés internacional desde los años 90, cuando fue tocado el tema en los principales foros científicos internacionales relacionados con nutrición y haciendo contrapeso a la preocupación convencional sobre la importancia de la proteína y energía; de estos micronutrientes, la vitamina A, Fe e I han sido parcialmente suplidos por programas de suplementación, pero los niveles de Zn, que son importantes para los países en desarrollo, no han sido suplementados (Solomons & Ruz, 1997).

La prevalencia creciente de deficiencias de micronutrientes es una causa importante de una salud deficiente en los países en desarrollo de Asia, por tal motivo se postula que la integración de vegetales ricos en micronutrientes en la dieta es la forma más fácil, práctica y sustentable de mejorar esta deficiencia. Los vegetales son una fuente eficiente de los principales micronutrientes, tanto por el costo de la producción de una unidad, como por la productividad por área, pero su consumo en Asia es inferior a lo necesario, por lo que las políticas modernas se basan en mejorar el consumo de micronutrientes, por estrategias como mejoramiento del contenido de micronutrientes de los vegetales, aumento del interés por su consumo por la población y mejoramiento de las prácticas de preparación de los alimentos (Ali & Tsou, 1997), así como el fortalecimiento de alimentos de gran consumo.

Por definición un oligoelemento (micronutriente o microelemento) es aquel que contribuye con menos del 0.01% del peso corporal. A pesar de encontrarse en bajas cantidades, muchos de estos son esenciales para la salud, unos formando parte de los grupos enzimáticos y otros necesarios para funciones metabólicas, estructurales y reproductivas en los mamíferos. Los mamíferos almacenan sus reservas, aumentan la absorción intestinal y disminuyen la excreción en situaciones de suministro escaso. Se hace necesario por consiguiente, revisar los conceptos de los niveles de referencia de la ingesta en lo referente a elementos traza (Schümann, 2006).

Una revisión de las ingestas de niños vegetarianos y omnívoros en diez países, demostró que los niños omnívoros de Guatemala ingieren 9.0 ± 2.7 mg/día de Zn, 1.9 ± 1.2 mg/día de Cu y 3.6 ± 2.0 mg/día de Mn (Cavan, Gibson, Grazioso, Isalgue, Ruz, & Solomons, 1993), que valores ligeramente más altos que los vegetarianos de otros países; la biodisponibilidad de estos elementos

podría ser baja, siendo los niños los más vulnerables a niveles subóptimos de Zn, los dos primeros elementos provienen de vegetales, mientras que el Mn proviene de los cereales (Gibson, 1994).

Una amplia revisión de la literatura sobre micronutrientes y embarazo demostró que en los países desarrollados el suplemento con Zn, Ca y Mg puede mejorar el peso al nacer y prematuridad en poblaciones a riesgo, los folatos pueden prevenir los defectos del tubo neural, la deficiencia severa de I aumenta los óbitos fetales y retardo mental, el suplemento con vitamina A puede reducir la mortalidad materna, la vitamina C puede ser importante en la etiología de la prematuridad, y que el complejo B, Cu y Se juegan un papel importante para mejorar el producto del embarazo (Ramakrishnan, Manjrekar, Rivera, González-Cossio, & Martorell, 1998). En la dieta básica de la población chilena se ha detectado una deficiencia de Fe, Zn y Cu, aunque esta es relativamente baja en vegetales verdes (Olivares, Pizarro, de Pablo, Araya, & Uauy, 2004).

La deficiencia de micronutrientes es un problema universal que afecta unos tres billones de gentes en el mundo, principalmente entre mujeres y niños de familias pobres, dando como resultado una salud pobre, baja productividad y altas tasas de mortalidad y morbilidad. Hay evidencias que indican que los vegetales silvestres tienen mayor o igual contenido de micronutrientes que los cultivados a pesar que regularmente son menos-preciados por investigadores y tomadores de decisiones, así mismo se desconoce el verdadero impacto de la cocción de vegetales silvestres y cultivados en los niveles y biodisponibilidad de los micronutrientes. La promoción del uso e integración a la dieta humana de vegetales silvestres podría contribuir al uso prolongado y a su consecuente conservación (Flyman & Afolayan, 2006) o bien servir de base para desarrollar técnicas agrícolas que permitan aumentar la acumulación y biodisponibilidad de micronutrientes en los alimentos cultivados (Welch & Graham, 2005).

Un estudio reciente revela una alta asociación entre la desnutrición con falta de crecimiento y desarrollo adecuado de los niños, con una desnutrición por sobrepeso en la madre, generando una condición crónica de desnutrición, asociada con falta de ejercicio y un mayor acceso a alimentos procesados de bajo costo con alta energía dietética, pero baja densidad nutritiva, sugiriendo que los tomadores de decisiones de nuestros países deberán tomar en cuenta ambos extremos de la lucha contra la desnutrición (Lee, Houser, Must, Dulladosa, & Bermudez, 2010).

II.1.3 Importancia de los oligoelementos en la nutrición humana

Para efectos de este proyecto, se han escogido los principales micronutrientes minerales de los que se tiene evidencia de mayor carencia en Guatemala, como son el Mg, Cu, Zn, Fe y Mn, que se encuentran en grados variables en la alimentación del guatemalteco dependiendo de la diversidad de su ingesta.

El Fe es un elemento mineral necesario para transportar y almacenar el oxígeno en la sangre, médula ósea y músculos. Tiene la capacidad de oxidarse o reducirse, según las condiciones microambientales, por lo que es indispensable para el transporte de electrones en las reacciones mitocondriales y otras reacciones celulares. Es necesario para la síntesis de ADN, lo que lo hace participar directamente en actividades de crecimiento, cicatrización, reproducción y defensa, además de ser utilizado por las enzimas involucradas en la síntesis de colágeno, hormonas y moléculas neurotransmisoras. En el cuerpo forma parte de la hemoglobina eritrocitaria, la mioglobina muscular y la ferritina hepática que es su forma de almacenamiento. Se encuentra en

una gran variedad de alimentos de origen vegetal y animal, pero su principal disponibilidad es en los tejidos animales y alimentos fortificados. La deficiencia es muy común en niños y mujeres en edad reproductiva, que se manifiesta como anemia hipocrómica ferropriva; aunque el consumo excesivo puede producir siderosis o hemocromatosis que puede producir cirrosis hepática, insuficiencia cardíaca y otras afecciones metabólicas (Yehuda & Mostofsky, 2010). En vista que la deficiencia de hierro impacta en embarazadas y niños de países en desarrollo, se ha sugerido su incorporación formal en la estrategia de los 1,000 días, las evidencias globales sugieren que la forma más efectiva de intervención para mejorar esta deficiencia y promover el desarrollo infantil temprano comienza en los primeros años de vida, ya sea por la vía de una ingesta materna adecuada, o bien promoviendo la fortificación de los alimentos maternos o infantiles, estrategia apoyada por la Organización Mundial de la Salud (Black, 2012). La falta de regulación del metabolismo de Fe puede inducir neurotoxicidad, particularmente en el caso de enfermedad de Parkinson (Dusek, Roos, Litwin, Schneider, Flaten, & Aaseth, 2014).

El Zn es un elemento mineral traza que participa en importantes reacciones relacionadas con el crecimiento y desarrollo, la función neurológica, reproductiva, participa en más de 300 reacciones enzimáticas, más de 1,000 factores de transcripción, por lo que es fundamental en reacciones múltiples metabólicas, particularmente en el manejo neonatal de la glucosa y el desarrollo futuro de otras enfermedades crónicas (Christian & Stewart, 2010); además, ha demostrado ser fundamental para el sistema inmune, habiéndose demostrado que su deficiencia compromete el funcionamiento de los linfocitos T y otras células inmunes, tales como las células dendríticas (Rink & Haase, 2006), por lo que sus niveles adecuados son muy importantes en la prevención y manejo de los procesos infecciosos, particularmente infecciones agudas y crónicas por virus y protozoos (Rashed, 2011; Lal et al., 2013), tanto en niños como en ancianos (Prasad, 2014). Cerca del 85% se encuentra en el músculo esquelético y hueso. La deficiencia de Zn es un problema de salud pública al que se le ha prestado muy poca atención, aunado al hecho que las principales fuentes de este elemento son de origen animal y la biodisponibilidad en los vegetales podría ser limitada por la presencia de agentes quelantes, sabiendo que esta deficiencia está asociada con la desnutrición proteico-calórica (Prasad, 2009). Un estudio en embarazadas turcas sanas y no suplementadas demostró que los niveles séricos de Se y Zn son bajos a lo largo del embarazo, mientras que los niveles de Cu son altos en los mismos períodos (Kilin, Coskun, Bilge, Imrek, & Atlu, 2010), así mismo la suplementación con Zn demuestra efectos terapéuticos benéficos en múltiples afecciones pediátricas (Prasad, 2009). Además, se ha demostrado recientemente que la suplementación con Zn reduce los niveles de hiperglicemia y la tendencia a disminuir los niveles de hemoglobina glicosilada, lo que indica que podría ayudar al manejo de la hiperglicemia en individuos con enfermedades metabólicas crónicas (Capdor, Foster, Petocz, & Samman, 2013). Es importante recalcar que una causa muy importante de la deficiencia de Zn es el contenido de fitatos en los alimentos, ya que estos impiden su absorción y generalmente no son destruidos en la preparación de los alimentos (Sandstead & Freeland-Graves, 2014).

El Mg es un mineral esencial que se necesita para una amplia gama de funciones fisiológicas, necesario para el funcionamiento de unas 300 enzimas (fosfatasa alcalina, ATP-asa, fosfatoquinasas y aquellas de la vía de la fosforilación oxidativa) y localizado fundamentalmente en huesos (Dermience, Lognay, Mathieu, & Goyens, 2015). Su absorción es en forma activa y pasiva y no pareciera estar bajo el control hormonal; los requisitos diarios van de 80-170 mg/día en niños hasta 10 años y 300-400 mg/día en adultos y embarazadas en un adulto sano se encuentra en hueso y músculo y no se conocen efectos adversos por altas concentraciones (Vormann, 2003). Los

efectos de su deficiencia son difíciles de definir por la gran diversidad de enzimas que lo requieren, pero se sabe que afecta la función paratiroidea, produce osteopenia, fragilidad del esqueleto, osteoporosis (Aaseth, Boivin, & Andersen, 2012) y otras patologías asociadas a la deficiencia de hormonas paratiroideas (Dermience et al., 2015; Rude, 2001; Rude & Gruber, 2004:).

El Mn también es un elemento esencial ubicuo necesario para el crecimiento normal, involucrado en la formación del hueso, desarrollo y homeostasis celular y en el metabolismo de amino ácidos, lípidos y carbohidratos; forma parte de varias enzimas y cofactores, particularmente Mn-superóxido dismutasa principal enzima antioxidante que protege al osteoblasto contra el daño oxidativo; su deficiencia es escasa, pero influye en el desarrollo óseo, reduce la fertilidad, produce defectos de nacimiento, defectos en la condriogénesis y alteraciones en el metabolismo de la glucosa (Soldin & Aschner, 2007; Dermience et al., 2015). Sin embargo, también es conocido que la sobreexposición a este elemento puede ser neurotóxico a través de varios mecanismos de acción, tanto neurotóxicos como por acción sobre los neurotransmisores (Michalke & Fernsebner, 2014), pareciendo tener responsabilidad en varias enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y esclerosis amiotrófica lateral (EAL) (Bowman, Kwakye, Herrero, & Aschner, 2011). Además, en pacientes con daño renal crónico este elemento se eleva a niveles tóxicos en forma similar a creatinina, urea y ácido úrico (Sánchez-González, López-Chaves, Gómez-Aracena, Galindo, Aranda, & Llopis, 2015).

El Cu es metal muy importante en la dinámica redox vital, tiene efecto en la programación de la apoptosis, en el desarrollo normal del esqueleto y en la síntesis y funcionamiento del sistema nervioso, así como forma parte de una 30 enzimas; se requiere una ingestión de 5 mg/día, que se almacena en hueso y músculos; su deficiencia es responsable de diversas afecciones neurológicas particularmente en niños (Zatta & Frank, 2007; López de Romaña, Olivares, Uauy, & Araya, 2011). Su acumulación puede causar necrosis porque facilita el daño de ADN, por lo que puede participar en enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer, EAL, Menkes (Ahuja, Dev, Tanwar, Selwal, & Tyagi, 2014) y Wilson (Dusek et al., 2014). Se ha demostrado que una dieta con exceso de Fe puede inducir una deficiencia de Cu, por lo que se recomienda que las personas expuestas a sobrecarga de Fe deben consumir un suplemento de Cu (Klevay, 2001), por otro lado, ha sido difícil evaluar la frecuencia de deficiencia de Cu en poblaciones humanas, por lo que se ha propuesto un chaperón de Cu-superóxido dismutasa como un biomarcador de deficiencia de Cu (Arredondo, Weisstaub, Medina, Suazo, Guzmán, & Araya, 2014). Su deficiencia también puede conducir al apareamiento de osteoporosis (Aaserth et al., 2012).

La Encuesta Nacional de Micronutrientes 2009-2010 demuestra que la prevalencia de la deficiencia de Fe evaluada por los niveles de ferritina y α_1 -glicoproteína ácida séricas es severa en todo el país (18.6% en el área urbana y 41.7% en la rural), utilizando como punto de corte 30 $\mu\text{g/ml}$, hecho que se complica con las frecuentes infecciones sufridas por la población infantil (MSPAS, 2010). La misma encuesta demuestra que la prevalencia de deficiencia de Zn es severa en todo el país (24.8% en el área urbana y 41.8% en la rural), representando un problema severo de salud pública que se manifiesta por detención del crecimiento lineal, así como tiene efecto en la profilaxis, tratamiento, severidad y duración de las infecciones infantiles.

II.1.4. Evaluación de la composición de alimentos con énfasis en micronutrientes:

Los antiguos habitantes de Mesoamérica desarrollaron una agricultura avanzada basada en maíz, frijol, calabaza y pimientos que se ha transferido exitosamente a otras regiones del mundo, sin embargo se ha prestado poca atención a otra fuente importante de alimentos desarrollada por cultivo o recolección de hierbas, tanto para alimento como para medicina. El análisis de las principales fuentes históricas de la agricultura precolombina demuestra el particular aprecio que se tenía por las hojas de los vegetales, detectándose cuando menos 35 especies pertenecientes a 10 familias, que eran particularmente apreciadas, de las cuales no todas han sido identificadas botánicamente (Picó & Nuez, 2000).

En 1961 se publicó una tabla regional de la composición de los alimentos, la cual fue desarrollada para América Latina por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) y la asesoría del Comité Internacional sobre Nutrición para el Desarrollo Nacional (ICNND) de los Estados Unidos (Wu Leung & Flores, 1961). Posteriormente la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) desarrolló tablas similares para África en 1968 y Asia en 1972. Los datos de estas tablas se basan en limitados números de ejemplares, escasos nutrientes en comparación con las metodologías modernas y algunas de las metodologías analíticas ya no son aceptables. Una compilación de estas tres tablas, así como otras 19 fuentes de información sobre composición de alimentos fueron publicadas y son la fuente más completa a la fecha (Duke & Atchley, 1986).

En ocho especies de hierbas silvestres se encontraron valores en base húmeda de Mg (32-160 mg/hg), Fe (1.7-5.4 mg/hg), Cu (0.12-0.22 mg/hg) y Zn (0.41-1.2 mg/hg), demostrándose los mayores valores en hojas de *Amaranthus viridis* L. y *Verbena officinalis* L. (Guil Guerrero, Giménez Martínez, & Torija-Isasa, 1998). El estudio inicial del INCAP no incluía la composición de las hojas de *Amaranthus*, pero un estudio posterior, reportado por Martínez (1993) da resultados preliminares que muestran su potencial nutricional. La evaluación del género *Amaranthus* demuestra que todas las especies son una bodega de vitaminas, amino ácidos esenciales y minerales (Ca, P, Fe, Mg, K, Cu, Zn, Mn), aunque se reconoce una considerable pérdida por los procesos de preparación de los alimentos (Venskutonis & Kraujalis, 2013).

El Mn es un elemento esencial, que puede ser neurotóxico al consumirse en altas dosis; forma parte de varias enzimas y cofactores, particularmente Mn-superóxido dismutasa principal enzima antioxidante; su deficiencia influye en el desarrollo óseo, reduce la fertilidad, produce defectos de nacimiento y alteraciones en el metabolismo de la glucosa (Soldin & Aschner, 2007).

El Cu es muy importante en la síntesis y funcionamiento del sistema nervioso, así como forma parte de una 30 enzimas; se requiere una ingestión de 5 mg/día, que se almacena en hueso y músculos; su deficiencia es responsable de diversas afecciones neurológicas particularmente en niños (Zatta & Frank, 2007; López de Romaña et al., 2011).

Las hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) Johnston) de Ghana demostraron una importante cantidad de Fe (18.6 g/kg), proteína cruda (269.5 g/kg) y varios amino ácidos, al evaluar esta hierba como un ingrediente para el engorde de pollos se demostró que los animales a los que se les administró tuvieron una tasa de mortalidad más baja que la que no los consumieron, a pesar que se identificó la presencia de glicósidos cianogénicos en las hojas (Donkoh, Atuahene, Poku-Prempeh, & Twum, 1999). El extracto metanólico de materiales provenientes de Nigeria demostraron valores considerablemente menores, de Mg (23.46 mg/hg), Zn (0.02 mg/hg) y Fe

(0.06 mg/hg) (Fagbohun, Egbebi, & Lawal, 2012). En estudios realizados en Guatemala con varios cultivares nativos se encontraron interesantes contenidos de Fe (14.8-29.4 mg/hg), Mn (3.5-4.9 mg/hg), Zn (5.2-9.3 mg/hg), Cu (1.1-1.6 mg/hg) y Mg (430-581 mg/hg) (Cifuentes, de Pöll, Bressani & Yurrita, 2010).

La evaluación de la dieta de los kuna de San Blas, Panamá, demostró que en general es pobre en proteína y grasas. Su dieta rica en pescado les provee cantidades aceptables de Na y K, aunque sus niveles de Fe, Zn, Cu y Mn son bajos. Los niveles de procianidina, cafeína, teobromina y grasa son elevados por el consumo de chocolate, pero sin que mejore el consumo de elementos traza (Chevaux et al., 2001).

La biodisponibilidad de Fe de la dieta depende de la composición global de la comida, incluyendo la presencia de aumentadores e inhibidores de la absorción; la dieta del guatemalteco basado en el alto consumo de tortilla de masa de maíz contiene cantidades relativamente altas de ácido fítico (fitato), potente inhibidor de la absorción de Fe (Cook, Reddy, Burri, Juillerat, & Hurrell, 1997) y Zn (Sandstead & Freeland-Graves, 2014), por lo que se ha sugerido fortificar la tortilla con NaFeEDTA para contrarrestar el efecto de los inhibidores (Davidsson, Dimitriou, Boy, Walczyk, & Hurrell, 2002).

El análisis químico de la composición de 13 vegetales verdes poco utilizados en India demostró que cuatro (*Amaranthus tricolor* L., *Centella asiatica* L., *Digera arvensis* Forssk. y *Celosia argentea* L.) poseen cantidades importantes de Fe (13.15-17.72 mg/hg) que podrían contribuir a disminuir la desnutrición crónica a un precio relativamente bajo (Gupta, Lakshmi, Manjunath, & Prakash, 2005). En el caso de las hojas de *Moringa oleifera* Lam. el contenido de Zn de variedades africanas dio valores importantes (3.28 ± 0.21 mg/hg de materia seca) (Coppin, 2008), así como de Mg (0.39-1.98 mg/hg) y Se (0.005-0.027 mg/hg) (Amaglo et al., 2010), mientras que los materiales de la India dieron contenidos mayores de Mn (7.68 mg/hg), Cu (0.82 mg/hg), Zn (2.59 mg/hg), Mg (1,896 mg/hg) y Fe (26.34 mg/hg) (Sharma, Gupta, & Rao, 2012).

Estudios etnobotánicos en áreas urbanas y periurbanas de Cameroon demuestran que una importante contribución en la alimentación de las familias pobres son las hojas de hierbas, tanto las cosmopolitas de uso común (Gockowski, Mbazo'o, Mbah, & Moulende, 2003), como algunas nativas poco conocidas (Ejoh, Nkong, Inocent, & Moses, 2007).

Un estudio realizado en Baja California en 10 especies arbustivas silvestres demostró que las que no son legumbres fueron las más altas en Na en todas las estaciones; las legumbres y no legumbres fueron bajas en K y Cu (4.3-7.3 mg/kg), mientras que Na y Fe fueron más altos en primavera; en verano, Cu fue más bajo y P más alto en todas las especies. Los niveles de Zn estuvieron entre 13.1-20.2 mg/kg. Puesto que las cabras son los principales rumiantes de la zona y se alimentan con estos arbustos, se estima que para una dieta satisfactoria, estas deberían de suplementarse con P, Cu y Zn (Ramírez-Orduña, Ramírez, González-Rodríguez, & Haenlein, 2005).

Un análisis global del contenido de Zn en diversos alimentos europeos demostró que las hojas de espinaca están en el Grupo 3 (500-1,000 µg/hg) y es considerada una buena fuente de este micronutriente, particularmente porque este elemento no se une a las llamadas fitoquelatinas,

péptidos que limitan la biodisponibilidad de Cu y Cd, así como su contenido parece depender más de la especie vegetal, que del origen de ese alimento (Scherz & Kirchoff, 2006).

El Zn es un elemento mineral traza que participa en importantes reacciones relacionadas con el crecimiento y desarrollo, la función neurológica, reproductiva, muchas reacciones enzimáticas y metabólicas particularmente en el manejo neonatal de la glucosa y el desarrollo futuro de otras enfermedades crónicas (Christian & Stewart, 2010) y para el sistema inmune, habiéndose demostrado que su deficiencia compromete el funcionamiento de los linfocitos T y otras células inmunes, como las células dendríticas (Rink & Haase, 2006) por lo que son muy importantes en el manejo de los procesos infecciosos. Cerca del 85% se encuentra en el músculo esquelético y hueso. La deficiencia es un problema de salud pública al que se le ha prestado poca atención, aunado al hecho que las principales fuentes de este elementos son de origen animal y la biodisponibilidad podría ser limitada por la presencia de agentes quelantes, sabiendo que esta deficiencia este asociada con la desnutrición proteico-calórica (Prasad, 2009). Un estudio en embarazadas turcas sanas y no suplementadas demostró que los niveles séricos de Se y Zn son bajos a lo largo del embarazo, mientras que los niveles de Cu son altos (Kilin et al., 2010), así mismo la suplementación con Zn demuestra efectos terapéuticos benéficos en múltiples afecciones pediátricas (Prasad, 2009).

En 32 especies vegetales secas usadas como condimento en Turquía se demostró que los mejores valores de Fe se encontraron en hojas y flores de *Lavandula officinalis* L. (1,229.2 mg/kg), los de Cu en semillas de *Papaver somniferum* L. (14.4 mg/kg) y los de Zn (49.7 mg/kg) en semillas de *Nigella sativum* L. (Özcan, 2004). En un estudio posterior se demostró que en las infusiones de hierbas aromáticas, con 10 min de infusión se logran obtener todos los minerales contenidos en el vegetal, alcanzándose valor interesantes de Fe (1295.65 ppm) en *Melissa officinalis* L., de Cu (12.18 ppm) en *Crataegus orientalis* M. Bieb., de Zn (26.00 ppm) en *Matricaria chamomilla* L. y de Se (23.53 ppm) en *Coriandrum sativum* L. (Özcan, Ünver, Uçar & Arslan, 2007).

A pesar de la conocida diferencia económica y cultural entre el área rural y urbana de Guatemala, un estudio reciente demostró que existen pocas diferencias en la variedad y diversidad de la dieta infantil entre poblaciones de áreas de ingresos bajos de la ciudad (Colonia Centro América zona 7) y una aldea indígena (Santo Domingo Xenacoj), evidenciándose el frecuente consumo de alimentos comerciales procesados (Enneman, Hernández, Campos, Vossenaar & Solomons, 2009). Sobresale para efectos de este proyecto el consumo de hojas cocidas de chipilín, güisquil y macuy como algunos de los principales alimentos consumidos.

Una revisión crítica de la literatura sobre el valor nutricional de las hojas de 22 hierbas usadas como alimento en el África Sub-Sahariana, demuestra que varios tienen un importante potencial para contribuir a la salud humana, en algunos casos los vegetales nativos tienen mejores valores que los introducidos, como la espinaca y repollo. Se hace énfasis que factores determinantes como el almacenaje, los métodos de cocción y secado, la presencia de factores anti-nutricionales y anti-oxidantes pueden influir en el contenido de micronutrientes. Se concluye que es importante promover el consumo y cultivo de estos vegetales para una disponibilidad directa por la población (Uusiku, Oelofse, Duodu, Bester, & Faber, 2010).

Finalmente, es de considerar los hallazgos de Kasperczyk y colaboradores (2015) que demostraron que en presencia de niveles elevados de los elementos traza se tuvo un mejor efecto en

la calidad del espermato humano, mediado por la acción antioxidante y los niveles aumentados de las citoquinas proinflamatorias.

II.1.5 Estudios de composición química y actividad antioxidante de alimentos en Guatemala

El estudio de la composición química de los alimentos es un trabajo pionero realizado en Guatemala por el INCAP desde 1960 (Wu Leung et al., 1961), análisis que dieron origen a las tablas de composición de alimentos de América Latina. El Cuadro muestra la composición de las especies escogidas.

Nombre	Caloria /hg	Agua %	Prot %	Gras %	CHO %	Fibra %	Ceni %	Ca mg/hg	P mg/hg	Fe mg/hg	Ref
<i>Amaranthus hybridus</i>	-	86.9	3.5	-	-	-	-	267	67	3.9	5
<i>Cnidioscolus aconitifolius</i>		78.0	31.2	7.9			9.2	880		21.5	4
<i>Crotalaria longirostrata</i>	565	81.6	7.0	0.8	9.1	2.0	1.5	287	72	4.7	1
<i>Dysphaniaambrosioides</i>	42	85.5	3.8	0.7	7.6	1.3	2.4	304	52	5.2	1
<i>Lycienthes synanthera</i>	54	82.5	6.3	0.4	6.3	2.8	1.7	252	47	1.9	2
<i>Moringa oleifera</i>	78	73.9	8.2	0.6	14.7	2.1	2.6	571	149	11.4	1
<i>Sechium edule</i>	60	89.7	4.0	0.4	4.7	1.2	1.2	58	108	2.5	1
<i>Solanum nigrescens</i>			33.9		40.9			216	65	11.9	3
<i>Solanum wendlandii</i>	63	80.9	3.5	0.2	11.8	1.8	1.8	121	53	2.5	6
<i>Spinacia oleracea</i>	30	89.8	2.8	0.7	4.9	0.7	1.8	60	30	3.2	1

Referencias: 1: Wu Leung & Flores, 1961; 2: Salazar et al., 2006; 3: Spillari-Figueroa, 1983, 4. Cifuentes et al., 2010; 5. Martínez, 1993; 6. Campos, 2003

El intenso trabajo de Bressani en el INCAP y luego en la Universidad del Valle ha generado información sobre la composición química de valor nutricional en varias especies nativas. En una muestra silvestre y cuatro variedades cultivadas en Guatemala de *C. aconitifolius*, se estudió la composición química nutricional, encontrándose valores de microelementos importantes, tales como Fe (21.5 mg/hg), Zn (7.2 mg/hg), Cu (1.3 mg/hg) y Mg (484 mg/hg), así como el perfil de ácidos grasos, recomendando que estas hierbas podrían contribuir a superar la inseguridad alimentaria y combatir la desnutrición en humanos y animales (Cifuentes et al., 2010).

Desde 1996 en la Facultad de CCQQ y Farmacia (USAC) se han realizado más de 12 investigaciones sobre actividad antioxidante vegetal, en los cuales se establecieron procedimientos para evaluar la actividad y la cuantificación de polifenoles. Se estudiaron los procedimientos de extracción más eficientes, se optimizaron los métodos macrométricos para el tamizaje de la actividad y se evaluó la actividad antioxidante de unas 20 especies entre frutas y hierbas comestibles, sobresaliendo la actividad de *S. americanum* Mill. (Caballeros, 2001; Lima, 2004).

Las hojas de *Crotalaria longirostrata* y *Solanum wendlandii* se evaluaron por su contenido de oligoelementos, encontrándose valores de Zn (0.19-0.60 mg/hg), Mg (16-82 mg/hg) y Cu (0.906-0.015 mg/hg) similares a otras verduras (Campos, 2003). La actividad antinutricional medida por actividad hemaglutinante e inhibidora de tripsina y de α -amilasa fueron considerablemente disminuidas por efecto de la decocción durante 15 min (Salazar, Velásquez, Quesada, Piccinelli & Rastrelli, 2006).

Un estudio financiado por CONCYT (FODECYT 28-2007) estableció las técnicas cualitativas por CCF y micrométricas cuantitativas para evaluar la actividad antioxidante de

extractos vegetales y con el aporte varios estudios de tesis se evaluó la actividad antioxidante de 24 especies usadas como alimento, condimento o medicina, ocho especies demostraron una importante actividad antioxidante (Cáceres et al., 2012b).

En el marco de cooperación internacional, extractos procesados por los autores, se han investigado en las Universidades de Salerno, Italia y Granada, España. En un primer estudio se encontró que el extracto de pericón (*Tagetes lucida* Cav.) y sus flavonoles tienen actividad antioxidante superior al α -tocoferol (Aquino, Cáceres, Morelli & Rastrelli, 2002); en cinco especies usadas en el Caribe guatemalteco para combatir procesos infecciosos, tres (*Acalypha guatemalensis* Pax & Hoffm., *Ocimum micranthum* Willd. y *Smilax spinosa* Mill.) presentan actividad en tres modelos de antioxidación y peroxidación lipídica (Navarro et al., 2003); y en el tercero, el extracto etanólico de la raíz de *Valeriana prionophylla* Standl. y sus lignanos, demostraron actividad antioxidante y vasorelajante (Piccinelli et al., 2004).

Las hojas de *Crotalaria longirostrata* y *Solanum wendlandii* han sido evaluadas por su contenido de oligoelementos, encontrándose valores de Zn (0.19-0.60 mg/hg), Mg (16-82 mg/hg) y Cu (0.906-0.015 mg/hg) equiparables a otras verduras (Campos, 2003). Las hojas de *Lycianthes synanthera* (Sendtn.) Bitter provenientes de Cobán fueron analizadas por su valor nutricional y antinutricional, demostrando que son ricas en Ca, K, Fe, Zn, Cu, ácido ascórbico, riboflavina, proteína, carbohidratos y energía, valores que son superiores en la mayoría de los casos que *Lactuca sativa*, *Spinacia oleracea* L., *Beta vulgaris*, *Lepidium sativum* y *Cichorium endivia*, con excepción de P, K y ácido ascórbico que fueron más altos en los vegetales comúnmente consumidos en Europa que sirvieron de comparación. La actividad anti-nutricional medida por actividad hemaglutinante e inhibidora de tripsina y de α -amilasa fueron considerablemente disminuidas por la cocción durante 15 min (Salazar, Velásquez, Quesada, Piccinelli & Rastrelli, 2006).

Un estudio con financiado por CONCYT (FODECYT 28-2007) estableció las técnicas cualitativas por CCF y micrométricas cuantitativas para evaluar la actividad antioxidante de extractos vegetales y evaluó la actividad antioxidante de 10 especies usadas como alimento, condimento o medicina. Las principales especies con actividad fueron *T. lucida*, *Litsea guatemalensis* HBK, *Piper auritum* Kunth., *Solanum nigrescens* Mart. & Gal., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., *Smilax domingensis* Willd., *Phlebodium pseudoaureum* (Cav.) Lellinger y *Pimenta dioica* L. (Cáceres et al., 2012b).

En otro estudio con financiamiento de CONCYT (FODECYT 17-2009), se evaluó la actividad antioxidante de 11 especies nativas del género *Piper*, encontrándose interesante actividad por los tres procedimientos antioxidantes ensayados en el extracto metanólico de tres especies (*P. psilorachis*, *P. schippianum* y *P. variable*) y moderada actividad en el extracto de *P. oradendron* (Cáceres, Cruz, Gaitán, Guerrero, Álvarez, & Marroquín, 2012a). En la evaluación de tres especies del género *Passiflora*, se encontró importante actividad en el extracto de *P. ligularis* (Marroquín, Cruz, & Cáceres, 2012).

II.1.6 La suplementación alimenticia como una alternativa viable:

Al hablar de salud, no se piensa en la alimentación diaria, y sin embargo es la base de diversas enfermedades, y según la Organización Mundial de la Salud, existen tres causas importantes de muerte prematura en países desarrollados, como la patología cardiovascular, debido

al abuso de comidas procesadas, y dietas excesivas en grasas y carbohidratos y pobres en micronutrientes, accidentes cerebrovasculares asociados a lo anterior, y el cáncer, que es en un 50% relacionado con malos hábitos alimenticios, que previamente pudieron haber ocasionado hipertensión y diabetes (Delgado, 2010).

Existe una gran diferencia entre comer y nutrirse, ya que el alimento es la base de la vida, y es la materia prima importante para que el organismo pueda llevar a cabo sus funciones, sin embargo si las personas no se alimentan bien, se impide que las funciones del organismo sean correctas. Al nutrir el cuerpo se deben de consumir macro y micronutrientes esenciales. Es importante saber que no todos los alimentos brindan los mismos y a igual cantidad los nutrientes, por lo que es necesario conocer la composición nutricional de los alimentos para poder seleccionarlos en la dieta (Delgado, 2010).

Para que el cuerpo pueda funcionar adecuadamente, es necesario que las células realicen un trabajo armónico, para ello son esenciales los oligoelementos, en cantidades trazas, para la reproducción celular y el sistema de defensa del cuerpo. Según algunos occidentales, la industrialización indiscriminada del sector de alimentos, ha hecho que las personas no consuman lo esencial en micronutrientes, aunque ciertas circunstancias también desfavorecen su absorción, como por ejemplo el uso de laxantes naturales y sintéticos, la polución atmosférica, alimentos que se mezclan en una competencia negativa, como por ejemplo, los alimentos que son ricos en calcio, compiten con el zinc, los de magnesio compiten con el calcio, y los de hierro compiten con el zinc. La polución atmosférica altera el equilibrio de los oligoelementos. Es conocido el efecto devastador sobre el cuerpo de la polución con metales como el plomo, el mercurio o el cadmio.

La causa por la que la alimentación en Guatemala es tan deficiente, es porque la forma más barata de tener una comida voluminosa es con hidratos de carbono, como tortillas, papas, arroz, tamales, pan, y a eso se le suma la grasa, que da la sensación de llenura en el estómago, además con ello se suman diversos factores, como la agricultura intensiva, cosecha precoz, uso de fertilizantes y pesticidas, polución, sobre cocción de alimentos, aditivos, frituras, por lo cual todos estos procesos en su mayoría eliminan los nutrientes en los alimentos según Natural Standard Herbs, en el 2010, y producen un aumento de peso en la población a la vez que mal nutrición, lo que a su vez se traduce en falta de rendimiento, mala concentración mental, cansancio, estrés, y desarrollo de múltiples infecciones.

Cuando existe una falta de nutrientes, el hipotálamo envía señales de hambre, y la población prefiere comer cosas dulces, y no frutas y verduras, que saciarían el hambre inmediatamente, al brindar la dosis adecuada de micro y macro nutrientes.

Otro fenómeno muy familiarizado en Guatemala, es el no comer, debido a la mala economía, o malos hábitos, e inclusive por malas dietas bajas en calorías, para disminuir el peso corporal, sin asesoramiento profesional; cual sea la dieta hipocalórica, ésta conlleva un recorte en la ingestión de alimentos y, por tanto, de vitaminas, minerales y oligoelementos, aumentando aún más las deficiencias ya existentes. Como consecuencia de estos hábitos de mala alimentación, disminuye la energía en el cuerpo, aumenta el nerviosismo, irritabilidad, debilidad de uñas y pelo, cansancio, aumento de ansiedad.

En los 50s en lo más alto de la preocupación por la desnutrición proteico-calórica se desarrolló el concepto de mezclas alimenticias ricas en proteína, de bajo costo y accesibles por las poblaciones de bajos ingresos, siendo el ejemplo más famoso el desarrollo de la Incaparina (Bressani, et al., 1961).

Para mejorar los niveles de desnutrición en los países pobres, se han propuesto varias estrategias, pero sobresale el uso de la biofortificación de materiales de la diversidad y el cambio de actitudes hacia la dieta. Los ejemplos más importantes de biofortificación de los recursos genéticos son los mejoramientos del contenido de β -caroteno en arroz, camote y tomate, el aumento del contenido de aminoácidos en maíz y papa, y el de ácidos grasos en varios aceites vegetales. Una revisión al respecto concluye que el uso agrícola de la biodiversidad podría reforzar la diversidad en la dieta, disminuir la desnutrición por falta de micronutrientes (Tontisirin, Nantel, & Bhattacharjee, 2002) y contribuir en la lucha contra la pobreza y malnutrición (Johns & Eyzaguirre, 2007).

La evaluación de tres intervenciones de vitamina A en Guatemala demostró que la suplementación en azúcar es la forma más barata (US\$ 0.98/fortificación), contra distribución de cápsulas (US\$ 1.68-1.86) y educación/producción de alimentos (US\$ 3.10-4.16), sin embargo cuando el consumo de azúcar es muy bajo, el uso de cápsulas o educación/producción podría ser más efectivo para un impacto más amplio y sostenible (Phillips, Sanghvi, Suárez, McKigney, & Fiedler, 1995). El caso de la fortificación de sal con iodo es otro ejemplo, en que los estudiantes pueden ser un factor determinante en el conocimiento de la deficiencia y podrían generar preocupación por el tema (Umemoto, Houston, Solomons, & Mendoza, 1999).

La transición nutricional es también un serio problema de salud pública, en el caso particular de Mesoamérica esta consiste en los cambios dietéticos de la población de una dieta rural de subsistencia basada en cultivos tradicionales, como el maíz, frijol y hierbas, a una dieta procesada, deficiente en micronutrientes y densa en proteína y energía, que conduce a enfermedades como el síndrome metabólico (diabetes, obesidad, enfermedades cardiovasculares, hipertensión e hiperlipidemia), malignidades y osteoporosis, lo que ha llevado al desarrollo del concepto de nutrición preventiva (Valdés-Ramos & Solomons, 2002).

El integrar el conocimiento sobre la composición nutricional y fitoquímica de las hierbas nativas de uso culinario, su potencial actividad antioxidante y su bajo contenido de compuestos anti-nutricionales permite atribuirles categoría de alimentos funcionales, puesto que presente una actividad funcional o metabólica más allá de sus propiedades propiamente nutricionales. Un ejemplo de esa aplicación es el uso de 148 hierbas comestibles para contribuir a mejorar la calidad de vida de pacientes con el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), aunque en este estudio se detectaron únicamente dos flores usada con esos fines (*Hibiscus sabdariffa* L. y *Microglossa pyrifolia* (Lam.) Kuntze) (Mugisha, Asiimwe, Namutebi, Borg-Karlson, & Kakuddi, 2014).

La relevancia y esencialidad de los oligoelementos es evidente para la salud humana, particularmente por la fuerte asociación con la presencia de electrones desapareados que le permiten participar en reacciones redox, en los sistemas biológicos estos metales se unen a proteínas formando las metaloproteínas que son parte de los sistemas enzimáticos; las referencias

sobre la ingesta sugeridas por las agencias reguladoras son una guía que deben tomar en cuenta la ingesta, la suplementación y la toxicidad (Fraga, 2005).

En Guatemala, el programa de fortificación de la sal con yodo es el más antiguo, pero todavía no se cumple satisfactoriamente en todo el país, se estima que solamente el 65% de la sal esta adecuadamente fortificada, lo que permite afirmar que existen grupos de población susceptibles de desórdenes por deficiencia de yodo. El azúcar fortificada es la fuente de vitamina A más importante del país, se estima que el 89% del azúcar está llegando a los hogares debidamente fortificada (CONAFOR-INCAP-OPS-UNICEF, 2006). El programa de fortificación de harina de trigo se supone exitoso con relación al Fe, alcanzándose niveles mínimos en el 90% de las muestras evaluadas, sin embargo, el déficit persiste en poblaciones rurales por los hábitos dietéticos tradicionales que priorizan el uso de maíz y en los que en oportunidades el consumo de harina de trigo es inalcanzable.

A pesar de los años de existencia de los programas y del monitoreo legal por las autoridades, contribuye a una baja efectividad el hecho que no existe un presupuesto fijo y comprometido destinado al sistema de garantía de calidad de los alimentos fortificados. Además, se visualiza la limitante que la fortificación depende de insumos importados que se aplican a productos comerciales o bien opciones asistencialistas que hacen a las poblaciones vulnerables aún más dependientes.

Por esos motivos se postula como una posibilidad de suplementación la promoción de huertos mixtos familiares, que además de ser una opción interesante, han sido tradicionalmente usados en Mesoamérica para suplir de alimentos básicos en un esquema de diversificación de cultivos, de aprovechamiento de la biodiversidad local, de fortalecimiento de la seguridad alimentaria y de conservación de recursos fitogenéticos (Azurdia, 2008; Corzo Márquez & Schwartz, 2008). El uso sistemático de la biodiversidad se postula como un esquema global para alcanzar seguridad alimentaria, desarrollo sustentable y ayudar a cumplir con las metas del milenio (Toledo & Burlingame, 2006). Varios proyectos que toman en cuenta estos elementos para mejorar la necesidad de micronutrientes en poblaciones humanas han sido propuestos (Grivetti & Ogle, 2000), y se conocen exitosos ejemplos en Sud África (Flymann & Afolayan, 2006) y las islas del Pacífico (East & Dawes, 2009).

II.1.7 Factores antinutricionales

Los factores antinutricionales son compuestos químicos que por su asociación con elementos nutricionales evitan que estén biodisponibles o bien afectan la salud de sus consumidores, particularmente por la presencia de taninos, saponinas, fitatos y oxalatos. Estos factores son definidos como sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo secundario de las plantas como un mecanismo de defensa contra sus depredadores y que en la dieta de animales interfieren en el aprovechamiento de los nutrientes (Gutierrez, Ortiz, Muñoz, Bah, & Serrano, 2010).

Los taninos tienen la propiedad de formar complejos con proteínas, carbohidratos, enzimas y elementos minerales; pueden ser condensados o hidrolizable, pudiendo afectar la salud animal desde simples problemas de interferencia con los alimentos, hasta la muerte en casos extremos (Gutierrez et al., 2010). Los oxalatos pueden encontrarse en cantidades pequeñas en los vegetales,

pero pueden acumularse hasta llegar a rangos de 3-15% de su peso seco, algunos son sales solubles de K y Na, o bien sales insolubles de Ca, Mg y Fe, que inclusive pueden estar en forma cristalizada o bien quelando los nutrientes de interés alimenticio (Radek & Savage, 2008)

Para determinar el efecto de factores antinutricionales en la biodisponibilidad de Ca y Fe, se evaluaron 13 vegetales cuyas hojas se consumen como hierbas en la India estimándose su disponibilidad por diálisis de equilibrio; el ácido oxálico fue < 1 g/kg en cuatro vegetales y el resto varió entre 1.22 y 11.98 g/kg, la fibra dietaria varió entre 19.5 y 113.7 g/kg y los taninos entre 0.6138 y 2.1159 g/kg; cuatro hierbas demostraron una biodisponibilidad de Fe del 40%, mientras que las otras fluctuaron entre 6-30% (Gupta, Lakshmi, & Prakash, 2006). Algunos de esos vegetales tuvieron contenidos elevados de taninos (*Delonix elata*, 1,330 mg/hg), aunque ninguno tuvo contenidos considerables de oxalatos (Gupta et al., 20056).

La evaluación del follaje de 61 accesos de 10 especies de *Amaranthus* usadas como hierbas y como grano en India demuestra contenidos muy variables en componentes alimenticios y antinutricionales (Prakash & Pal, 1991). En 11 vegetales usados como hierbas, se demostró que tres (*A. cruentus*, *A. viridis* y *S. oleracea*) contienen altas cantidades de oxalatos totales (5,138-12,576 mg/hg de materia seca), otros siete vegetales contienen solo oxalatos insolubles (209-2,774 mg/hg de materia seca) (Radek & Savahe, 2008). Un estudio realizado en México con 13 malezas usadas en alimentación animal, demostró que algunas (*A. hybridus* y *Desmodium molliculum* (Kunth) DC.) poseen niveles de taninos y fitatos que podrían afectar adversamente la salud de los animales que las ingieren (Gutierrez et al., 2010).

La evaluación de la biodisponibilidad de Fe en los alimentos de la dieta mexicana demuestra que los vegetales son ricos en Fe, aunque varios con una biodisponibilidad baja y un alto contenido de factores inhibitorios, aunque los procesos de cocción no los reduce significativamente; se concluye que la biodisponibilidad de Fe, el contenido de fitatos y la relación molar fitato/Fe pueden predecir la pobre biodisponibilidad de Fe, produciendo un impacto negativo en las expectativas alimenticias de la gente (Sotelo, González-Osnaya, Sánchez-Chinchillas, & Trejo, 2010).

II.1.8 Justificación del trabajo de investigación

La investigación se justifica por la necesidad de validar las propiedades alimenticias de hierbas verdes que se consumen como caldos o “hierbitas” en las poblaciones tradicionales del país o bien que se aplican como hierbas de condimento en las comidas, a los que se les atribuyen propiedades alimenticias para atender la desnutrición crónica y para la recuperación de enfermos y anémicos, constituyéndose en alguna medida en evidencia de sabiduría y resiliencia de nuestras culturas.

Los trabajos iniciales de evaluación de la composición química de los alimentos es pionera en Guatemala con los trabajos del INCAP, pero en esta oportunidad se dará valor agregado a la información existente, investigando el contenido de Fe y su biodisponibilidad, y el contenido de otros oligoelementos (Zn, Cu, Mg y Mn) importantes para el bienestar humano, así como dos factores antinutricionales. Además, se evaluó la actividad antioxidante por métodos microcolorimétricos, lo que ayudará a conocer su actividad biológica complementaria o funcional.

Conscientes que es necesario conocer la presencia de factores antinutricionales, se evaluarán los contenidos de taninos y oxalatos, compuestos que favorecen estados negativos, que deberán disminuir después del cocimiento para mejorar la biodisponibilidad de los oligoelementos. La información de la composición de Fe y su biodisponibilidad contribuirá a conocer qué vegetales son los más adecuados para complementar la ingesta férrica por la población y tener certeza que una buena parte será aprovechada. De particular importancia será conocer la pérdida de estos elementos y las actividades antioxidante y anti-nutricional por el proceso de cocción. Así mismo, se evaluará la composición de los suelos de cultivo y se comparará con análisis foliar para conocer la influencia del suelo y las particularidades de cada especie en su composición de minerales.

Los programas oficiales de seguridad y soberanía alimentaria se basan principalmente en el aporte de alimentos con énfasis en los componentes proteico-calóricos de alimentos generalmente importados o granos adquiridos en el país y la fortificación con algunos elementos como la vitamina A en el azúcar y el yodo en la sal, existe alguna experiencia en la fortificación de maíz y otros alimentos con Fe, pero con grados variables de éxito. En todos los casos, la solución es de tipo intervención nutricional a través de la fortificación de alimentos comercializados, se propone que podría fortificarse la dieta con el consumo de hierbas cocinadas, a las que podría tenerse acceso a través de huertos mixtos familiares, que son una tradición en varias regiones del país.

Este proyecto se justifica en la evaluación de la composición química nutricional de estas hierbas nativas conservadas por la tradición y la posibilidad de la valoración de su consumo por la población como fuentes de oligoelementos y antioxidantes, pero que no tengan sustancias anti-nutritivas que disminuyan su disponibilidad. Se considera que la incorporación de estas hierbas podría mejorar la dieta de familias en situación alimentaria crítica y prevenir la desnutrición crónica. Además contribuiría a presentar opciones de apoyo a un plan nacional de seguridad alimentaria basado en el recurso disponible y no solo en la fortificación de alimentos industrializados que implican un consumo de alimentos comerciales que en las poblaciones vulnerables es muy bajo.

Con la información general y específica obtenida se ha preparado material informativo para el gran público para estimular su consumo, conservación y cultivo, así como la información técnica para el involucramiento de otros sectores y ampliar la diseminación de la información. Es de esperarse que esta información estimule a los sectores agrícolas para incrementar la producción al haber mayor demanda y que los sectores gubernamentales involucrados en los programas de seguridad alimentaria, incorporen estas hierbas en los huertos familiares que promueven, para contribuir a la seguridad preconizada.

PARTE III. RESULTADOS

III.1 Objetivo 1

Seleccionar, coleccionar y procesar ocho especies de hierbas nativas de uso alimenticio tradicional en Mesoamérica y dos de amplio uso internacional.

3.1.1 Preparación para la colecta

Se investigó la literatura para definir la forma de colecta de las muestras de campo, estableciéndose un procedimiento que incluye la toma de muestras botánicas y material vegetal para el procesamiento y transporte basado en proyectos previos ejecutados por el equipo participante. Con instrucciones del Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía, se preparó el procedimiento de operación estándar para la obtención de muestras representativas del suelo en los lugares de cultivo.

3.1.2 Colecta de material vegetal

Se realizaron viajes de prospección a Santa Apolonia, Chimaltenango (Fotografía 1) y a Santiago Sacatepéquez (Fotografía 2) para conocer lugares para la colecta de las plantas en estudio. Se realizaron dos viajes para colecta de tres especies en Escuintla y Suchitepéquez para su determinación botánica, recopilación de datos de campo y etnobotánicos, y colecta de una muestra de suelo en los sitios de cultivos (Fotografía 3). Se realizaron colectas con el mismo procedimiento de hojas de 11 especies que fueron colectadas en seis lugares de cultivo en los departamentos de Guatemala, Jalapa, Sacatepéquez, Santa Rosa, Suchitepéquez, Sacatepéquez y Alta Verapaz. (Fotografía 4). La colecta de *D. ambrosioides* y *S. oleracea* fue infructuosa, ya que después de varias visitas a la Central de Mayoreo, Mercados La Terminal, y de la Antigua y a agricultores que proveen estas hortalizas a mercados urbanos, fue difícil conseguir material, necesitando dos trimestres para conseguir las muestras. En el caso de *D. ambrosioides* es de notar que se visitaron cinco lugares tradicionalmente productores de esta hierba y se nos informó que está muy escasa, que germina bien pero que luego se enferma y se pudre antes de su corte.



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 1. Colecta de material vegetal en caserío Xejul: **A)** Reunión de Vicente Martínez con la EPS de Agronomía Teresa Echeverría; **B)** Conversación de Max Mérida con doña María de Jesús Toj



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 2. Visita al huerto de la familia Pic en la aldea Santo Domingo:
A) Max Mérida junto a Marvin Pic; B) Cosecha de material vegetal



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 3. Toma de muestra de suelo en Ecoparcela El Kakawatal:
A) Max Mérida muestreando suelo y B) colecta de hojas de Quixtán con Armando Cáceres



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 4. Colecta de muestras de **A)** Bledo en Aldea El Pinalito, San Pedro Pinula (Byron Gómez) y **B)** Chipilín en Cantón de Los Albizures, Chiquimulilla (José Alvirez)



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 5. Toma de muestras de **A)** Moringa en Rancho El Cimarrón (Marcos Castillo) y **B)** Chomté en Aldea Sanimtacá por Max Mérida y Alejandra López, acompañados de Ernesto Col

Finalmente se llevó a cabo la colecta de *D. ambrosioides* y *S. nigrescens*, en las aldeas Loma Alta y Los Turuy, respectivamente, en San Juan Sacatepéquez, Guatemala. La información botánica y de campo de las colectas puede apreciarse en el Cuadro 1 y Figura 1.



Fuente: FODECYT 69-2012

Figura 1. Localización de los lugares de colecta de las especies

Cuadro 1. Datos de colecta de las plantas en estudio

Iden.	Especie	Lugar de colecta	Coordenadas geográficas	Fecha de colecta	Precio/manejo	Contacto de proveedor	No. de voucher	Material colectado (Kg)
Mo1	<i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringa)	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	N 14° 07' 19.32" O 91° 17' 1.62" 33 msnm	21/04/2013		Rafael Bastarrechea ☎ 52033911	CFEH 1267	3.25
Ca1	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i> subsp. <i>aconitifolius</i> (Chaya)	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	N 14° 07' 26.82" O 91° 17' 3.06" 30 msnm	21/04/2013		Rafael Bastarrechea ☎ 52033911	CFEH 1271	3.40
Sw1	<i>Solanum wendlandii</i> Hook.f. (Quixtán)	Ecoparcela El KaKawatal, Samayac, Suchitepéquez	N 14° 33' 05.6" O 91° 28' 01.0" 621 msnm	05/05/2013		Armando Cáceres ☎ 57569166	CFEH 1265	7.45
Ah1	<i>Amaranthus hybridus</i> L. (Bledo)	Aldea El Pinalito, San Pedro Pinula, Jalapa	N 14° 40' 20.0" O 89° 52' 30.9" 1,152 msnm	15/05/2013	Q 3. ⁰⁰	Byron Gómez ☎ 57507192	CFEH 1264	7.21
Cl1	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn. (Chipilín)	San Bernardino, Suchitepéquez	N 14° 33' 44.0" O 91° 27' 16.9" 440 msnm	23/06/2013		Armando Cáceres ☎ 57569166	CFEH 1268	7.86
Ls1	<i>Lycianthes synanthera</i> (Sendtn.) Bitter (Quilete)	Ecoparcela El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	N 14° 33' 06.0" O 91° 27' 57.9" 623 msnm	23/06/2013		Armando Cáceres ☎ 5756-9166	CFEH 1277	10.58
Sn1	<i>Solanum nigrescens</i> Mart. & Gal. (Macuy)	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	N 14° 38' 25.5" O 90° 40' 26.5" 2,064 msnm	03/07/2013	Q 2. ⁰⁰	Marvin Pic ☎ 34324621	CFEH 1263	4.14
Sp1	<i>Spinacia oleracea</i> L. (Espinaca)	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	N 14° 38' 25.0" O 90° 40' 29.0" 2,062 msnm	03/07/2013	Q 3. ⁰⁰	Marvin Pic ☎ 34324621	CFEH 1266	4.39
Ah2	<i>Amaranthus hybridus</i> L. (Bledo)	Cantón de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	N 14° 03' 39.6" O 90° 21' 45.6" 186 msnm	21/07/2013	Q 2. ⁰⁰	José Antonio Albizures ☎ 47748478	CFEH 1269	4.24
Cl2	<i>Crotalaria longirostrata</i> Hook. & Arn. (Chipilín)	Cantón de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	N 14° 03' 58.5" O 90° 21' 23.4" 183 msnm	21/07/2013	Q 3. ⁰⁰	José Antonio Albizures ☎ 47748478	CFEH 1270	3.01
Ca2	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i> subsp. <i>aconitifolius</i> (Chaya)	CEDA de la Facultad de Agronomía, Ciudad Universitaria, zona 12	N 14° 34' 54.58" O 90° 33' 10.96" 1,479 msnm	31/07/2013		Vicente Martínez ☎ 40479229	CFEH 1272	8.20
Mo2	<i>Moringa oleifera</i> Lam. (Moringa)	Rancho El Simarrón, San José Pinula, Guatemala.	N 14° 32' 08.8" O 91° 23' 17.9" 1,749 msnm	04/09/2013		Marcos Castillo ☎ 53083878	CFEH 1273	4.47

Se1	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw. (Güisquil)	Aldea El Paraíso, San José Pinula, Guatemala	N 14° 36' 47.88" O 90° 22' 43.26" 1,451 msnm	28/08/2013	Q 2. ⁰⁰	Arnoldo Pineda	CFEH 1274	3.16
Se2	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw. (Güisquil)	Km 20 carretera a El Salvador, Frajanes, Guatemala	N 14° 30' 33.96" O 90° 28' 35.83" 1,861 msnm	20/08/2013	Q 2. ⁰⁰	Rolando López ☎ 4952-4909	CFEH 1275	3.18
Ls2	<i>Lycianthes synanthera</i> (Sendtn.) Bitter (Chomté)	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz	N 15° 29' 28.0" O 90° 27' 56.5" 1,245 msnm	29/09/2013		Ernesto Col ☎ 40841853 y 46551104	CFEH 1278	1.57
Sw2	<i>Solanum wendlandii</i> Hook.f. (Quixtán)	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	N 15° 48' 16.6" O 89° 52' 05" 1,167 msnm	30/09/2013		Daniel Penados ☎ 79520117 y 40822698	CFEH 1276	1.74
Sa1	<i>Solanum americanum</i> Mill. (Hierba mora)	Finca San José, San Bernardino, Suchitepéquez	N 14° 31' 49.4" O 91° 28' 25.8" 377 msnm	13/10/2013		Armando Cáceres ☎ 57569166	CFEH 1279	1.88
Sn2	<i>Solanum nigrescens</i> Mart. & Gal. (Macuy)	Aldea Loma Alta, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	N 14° 42' 53.6" O 90° 40' 33.6" 1,696 msnm	22/10/2013		Roberto Coj	CFEH 1280	4.70
Da1	<i>Dysphania ambrosioides</i> (Apazote)	Aldea Los Turuy, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	N 14° 42' 33.7" O 90° 40' 24.5" 1,735 msnm	22/10/2013	Q 10. ⁰⁰	Félix Culajay	CFEH 1281	5.50
So2	<i>Spinacia oleraceae</i> L. (Espinaca)	La Comunidad de Santiago, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.	N 14° 38' 27.9" O 90° 41' 7.30" 1,859 msnm	11/02/2014	Q 5.00	Marvin Pic ☎ 34324621	CFEH 1376	6.05
Da2	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants (Apazote)	Cantón Los Chavac, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	N 14° 43' 34.1" O 90° 37' 50.6" 1,820 msnm	20/02/2014	Q 10.00	Carlos Chavac ☎ 30588508	CFEH 1377	5.62

Fuente: FODECYT 69-2012

Complementariamente a la colecta de material para determinación botánica y para preparación de extractos, de suelo de los sitios de cultivo y de la demás información geográfica indicada, se colectó información etnobotánica sobre las formas de preparación culinaria de estas hierbas por los grupos de productores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Información etnobotánica nutricional de las especies colectadas

Muestra	Lugar y fecha de colecta	Información etnobotánica obtenida
Ca1	Nueva Concepción, 21/04/2013	Se preparar en caldo de pollo condimentado con tomate y cebolla.
Mo1	Nueva Concepción, 21/04/2013	Este es un cultivo destinado para exportación como suplemento alimenticio.
Sw1	Samayac, 05/05/2013	Lo cocinan con bofe, hígado o costilla, condimentado con cebolla y tomate. Se cuece en agua hirviendo el bofe y luego agregan el hígado, la
Ah1	San Pedro Pinula, 15/05/2013	Lo cocinan con huevo. Primero se cuece el bledo en agua hirviendo, se escurre y luego se bate con huevo para hacer tortillas de huevo.
Ls1	Samayac, 23/06/2013	Lo cocinan frito en sartén con un poco de aceite, tomate, cebolla y consomé.
Cl1	San Bernardino, 23/06/2013	La utilizan en la preparación de tamales conocidos como tamalitos de chipilín. También se mezclan con arroz y frijoles parados o en caldo con
Sn1	Santiago Sacatepéquez, 03/07/2013	Lo preparan en caldito con tomate y cebolla.
So1	Santiago Sacatepéquez, 03/07/2013	La preparan en ensaladas con aceite de oliva con frutas o con lechuga.
Cl2	Chiquimulilla, 21/07/2013	Lo preparan en caldo con tomate, cebolla y consomé y también en la elaboración de tamalitos.
Ah2	Chiquimulilla, 21/07/2013	Lo cocinan con huevo en la elaboración de tortitas.
Ca2	Guatemala, 31/07/2013	La utilizan para la preparación de pollo en caldo condimentado con tomate y cebolla.
Se1	Fraijanes, 20/08/2013	Con las puntas y hojas tiernas del güisquil preparan caldo condimentado con cebolla, tomate y sal.
Se2	San José Pinula, 28/08/2013	Las puntas y hojas tiernas se preparan en caldo con pollo condimentado con cebolla, tomate y sal.
Mo2	San José Pinula, 04/09/2013	Cultivo destinado para elaboración de cápsulas que se venden como suplemento alimenticio.
Ls2	Cobán, 29/09/2013	Las hojas las preparan en caldo con tomate, cebolla y sal entre 15 y 20 min.
Sw2	Fray Bartolomé, 30/09/2013	Las hojas las cocinan en caldo de res. La cocinan junto con la carne para darle tiempo de cocción.
Sa1	San Bernardino, 13/10/2013	Las hojas se cocinan en caldo con tomate, cebolla y sal.
Sn2	San Juan Sacatepéquez,, 22/10/2013	Las hojas las utilizan para preparar caldo con tomate, cebolla y sal
Ca1	San Juan Sacatepéquez, 22/10/2013	Las hojas las cocinan con huevo, tomate y sal.
Da2	San Juan Sacatepéquez, 20/02/2014	Lo cocinan en caldo de huevos, con cangrejo y con frijoles. La utilizan para tratar dolor de estómago y para curar heridas
So2	Santiago Sacatepéquez, 11/02/2014	La cocinan apagada con aceite en sartén, tomate, cebolla, chirmol y tortilla

Fuente: FODECYT 69-2012

3.1.3 Muestras de herbario

Durante todo el proyecto se realizaron colectas, determinación botánica, toma de datos de campo, toma de muestras de suelo e información etnobotánica de las 10 especies comprometidas en diferentes sitios de cultivo dentro del territorio nacional. Se ha ampliado el número de muestras, al coleccionar *S. americanum*, la cual será utilizada por cuatro estudiantes de Seminario de Tesis de la Facultad de CCQQ y Farmacia, para determinación complementaria del contenido de selenio. En las fotografías 6-16 se pueden apreciar las flores y hojas de cada una de las especies colectadas. Todas las especies fueron herborizadas y están depositadas en el Herbario Etnobotánico CEMAT-FARMAYA (Herbario CFEH), y el material vegetal está depositado en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) (Cuadro 1).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 6. *Amaranthus hybridus* A) Flores; B) Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 7. *Crotalaria longirostrata* A) Flores; B) Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 8. *Lycianthes synanthera* A) Flor y B) Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 9. *Moringa oleifera* A) Flores y B) Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 10. *Sechium edule* A) Puntas y hojas tiernas y B) Flor



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 11. *Solanum nigrescens* **A)** Flores y **B)** Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 12. *Solanum wendlandii* **A)** Flor y **B)** Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 13. *Cnidoscolus aconitifolius* subsp. *aconitifolius* **A)** hojas, **B)** cultivo



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 14. *Dysphania ambrosioides* A) hojas y flores B) cultivo



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 15. *Spinacea oleraceae* A) Cultivo; B) Hojas



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 16. *Solanum americanum* Mill. A) Flor; B) Hierba

3.1.4 Secado de materia vegetal:

Se obtuvieron materiales de cuatro especies para validar y estandarizar los procedimientos de secado. En LIPRONAT se realizó un secado experimental en un deshidratador de alimentos y en un horno de secado (Fotografía 17A-C) de las hojas de *S. oleracea*,

S. wendlandii y *C. aconitifolius*. Se determinó que la capacidad del deshidratador es de 100 g de hojas frescas y el tiempo mínimo de secado es de 2 h para un secado completo. Ante el aumento de muestras y teniendo mayores volúmenes de colecta, en los cinco trimestres, también se secó el material en el Laboratorio de Productos Naturales Farmaya, donde se utilizó un secador de bombillas y un secador de flujo horizontal (Fotografía 17D,E). En todos los casos se midió el porcentaje de humedad de las hojas de los materiales en una balanza de humedad.

En el Cuadro 3 se presentan los datos del porcentaje de humedad medida en el material vegetal fresco durante las primeras 24 h de colectado y el porcentaje de humedad en el material vegetal secado por cualquiera de los métodos descritos y considerado el material para análisis y almacenaje posterior. Todos los análisis se realizaron en balanza de humedad.



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 17. Secado de material en LIPRONAT y FARMAYA: **A)** Materia vegetal fresca de chaya; **B)** Secado en deshidratador doméstico; **C)** Secado en horno eléctrico; **D)** Secador de bombillas; **E)** Secador de flujo horizontal

Como puede apreciarse todos los materiales vegetales en estudio tienen un alto contenido de agua, variando en su estado fresco desde el 74.42% (*C. aconitifolius*) hasta 90.61% (*S. oleracea*). Este es un resultado de esperarse, ya que se trata de hojas consideradas hortalizas, por lo que su porcentaje de humedad es mayor al de otros materiales vegetales.

Respecto al contenido de humedad del material seco, en todos los casos se obtuvo valores menores al 10% que es la norma internacionalmente aceptada respecto a las drogas vegetales secas. Esto demuestra que los procedimientos seleccionados fueron efectivos en el proceso de desecación.

Cuadro 3. Porcentaje de humedad de las especies en estudio

Muestra	Lugar de colecta	Fecha de colecta	A	B
Mo1	Nueva Concepción, Escuintla	21/04/2013	76.34	4.12
Ca1	Nueva Concepción, Escuintla	21/04/2013	75.64	4.62
Sw1	Samayac, Suchitepéquez	05/05/2013	86.42	4.70
Ah1	San Pedro Pinula, Jalapa	15 /05/2013	83.36	4.44
Cl1	San Bernardino, Suchitepéquez	23/06/2013	78.62	4.84
Ls1	Samayac, Suchitepéquez	23/06/2013	88.20	4.25
Sn1	Santiago, Sacatepéquez	03/07/2013	81.62	4.55
So1	Santiago, Sacatepéquez	03/07/2013	90.61	3.88
Cl2	Chiquimulilla, Santa Rosa	21/07/2013	80.03	4.12
Ah2	Chiquimulilla, Santa Rosa	21/07/2013	76.81	4.67
Ca2	UVIGER, USAC, Campus Central zona 12	31/07/2013	74.42	3.77
Se1	Fraijanes, Guatemala	20/08/2013	86.70	7.55
Se2	San José Pinula, Guatemala	28/08/2013	87.15	8.12
Mo2	San José Pinula, Guatemala.	04/09/2013	78.69	9.55
Ls2	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz	29/09/2013	79.14	5.45
Sw2	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	30/09/2013	79.82	5.65
Sa1	Finca San José, San Bernardino, Suchitepéquez	13/10/2013	80.79	9.15
Da1	Aldea Los Turuy, San Juan Sacatepéquez	22/10/2013	87.20	7.25
Sn2	Aldea Loma Alta, San Juan Sacatepéquez	22/10/2013	84.47	5.15
So2	La comunidad de Santiago, Sacatepéquez	11/02/2014	88.68	11.50
Da2	Cantón Los Chavac, San Juan Sacatepéquez	20/02/2014	84.75	12.25

Fuente: FODECYT 69-2012

A: % de humedad de materia vegetal fresca; B: % de humedad de materia vegetal seca

Con las primeras hojas colectadas se preparó una decocción y se obtuvieron extractos secos de las hojas cocidas y del extracto acuoso; con esta información se preparó el POE #2, presentado anteriormente. Basados en la fase de experimentación y estandarización del procedimiento de extracción se prepararon extractos estándar a los que se les llamaron caldos. Estos se prepararon por decocción en agua durante 10 min y la materia vegetal fue desecada en horno, el caldo fue llevado a sequedad en baño de María y el contenido de agua fue evaluado por balanza de humedad (Fotografía 18).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 18. Preparación de caldos, **A)** Decocción; **B)** Extractos secos

En el Cuadro 4 se aprecian los rendimientos de extracción de los caldos obtenidos de las 21 muestras que fueron procesadas por el mismo procedimiento e investigador. Puede apreciarse los rendimientos son relativamente bajos, encontrándose valores de 1.06% (*M. oleifera*) a 0.32% (*S. oleracea*).

Cuadro 4. Rendimiento de los extractos acuosos de las especies en estudio

Muestra	Lugar de colecta	Fecha de colecta	Rendimiento (% \pm DE)
Mo1	El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	21/04/2013	1.06 \pm 0.02
Ca1	El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	21/04/2013	0.91 \pm 0.04
Sw1	El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	05/05/2013	0.72 \pm 0.04
Ah1	Aldea El Pinalito, San Pedro Pinula, Jalapa	15/05/2013	0.47 \pm 0.01
Cl1	El Kakawatal, San Bernardino, Suchitepéquez	23/06/2013	0.90 \pm 0.03
Ls1	El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	23/06/2013	0.57 \pm 0.03
Sn1	Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	03/07/2013	0.44 \pm 0.01
So1	Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	03/07/2013	0.32 \pm 0.01
Cl2	Los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	21/07/2013	0.72 \pm 0.04
Ah2	Los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	21/07/2013	0.63 \pm 0.01
Ca2	UVIGER, USAC, Campus Central zona 12	31/07/2013	0.81 \pm 0.08
Se1	Fraijanes, Guatemala	20/08/2013	0.49 \pm 0.02
Se2	Aldea El Paraíso, San José Pinula, Guatemala	28/08/2013	0.34 \pm 0.09
Mo2	El Simarrón, San José Pinula, Guatemala.	04/09/2013	0.72 \pm 0.02
Ls2	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz	29/09/2013	0.60 \pm 0.02
Sw2	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	30/09/2013	0.70 \pm 0.02
Sa1	San José, San Bernardino, Suchitepéquez	13/10/2013	0.91 \pm 0.00
Sn2	La comunidad de Santiago, Sacatepéquez	11/02/2014	0.44 \pm 0.13
So2	Cantón Los Chavac, San Juan Sacatepéquez	20/02/2014	0.45 \pm 0.02
Sn2	Aldea Loma Alta, San Juan Sacatepéquez	22/10/2013	0.63 \pm 0.02
Da2	Aldea Los Turuy, San Juan Sacatepéquez	22/10/2013	0.43 \pm 0.01

FODECYT 69-2012

Igualmente a lo expresado sobre el rendimiento fresco:seco, este es un resultado esperado por tratarse de hojas consideradas hortalizas y que generalmente tienen un alto contenido de agua, pero pueden contener oligoelementos importantes como nutrientes.

3.1.5 Tamizaje fitoquímico de material vegetal:

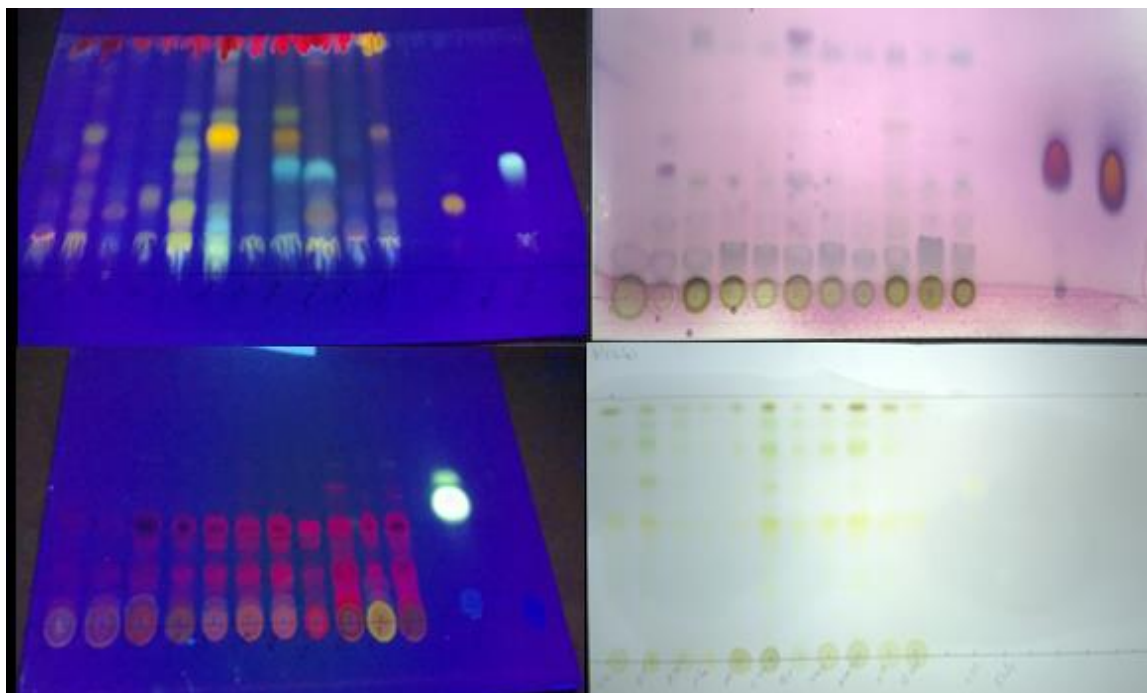
Como ensayo adicional del proyecto, se llevó a cabo el tamizaje fitoquímico, para determinar la presencia de ciertos metabolitos en las plantas en estudio, tales como alcaloides, flavonoides, cumarinas y aceites, y se pudo observar que todas las hierbas contienen estos cuatro metabolitos secundarios, a excepción de *S. wendlandii*, que no presentó flavonoides (Cuadro 5, Fotografía 19).

Cuadro 5. Tamizaje fitoquímico de las hierbas en estudio mediante CCF

Especie	Flavonoides	Aceite esencial	Cumarinas	Alcaloides
<i>Amaranthus hispidus</i> (Bledo)	+++	+++	+	++
<i>Solanum wendlandii</i> (Quixtán)	-	+++	++	+++
<i>Solanum nigrescens</i> (Macuy)	++	+++	+++	+++
<i>Moringa oleifera</i> (Moringa)	+++	+++	+++	+++
<i>Espinacia oleracea</i> (Espinaca)	+++	+++	+++	++
<i>Cnidioscolus aconitifolius</i> (Chaya)	+++	+++	+++	++
<i>Solanum americanum</i> (Hierba mora)	+++	+++	+++	++
<i>Sechium edule</i> (Güisquil)	++	++	++	+
<i>Dysphania ambrosioides</i> (Apazote)	+++	+++	++	+++
<i>Crotolaria longirostrata</i> (Chipilín)	+++	+++	++	++
<i>Lycianthes synanthera</i> (Quilete)	+++	+++	+++	+++

Fuente: FODECYT 69-2012

(+) = Metabolito presente. (-) = Metabolito ausente



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 19. Cromatografía en capa fina de flavonoides, aceites esenciales, cumarinas y alcaloides

Cuadro 6. Cromatografía de capa fina de las hierbas alimenticias

Tamizaje de:	Flavonoides			Aceites Esenciales			Cumarinas			Alcaloides		
Especie	Banda	Color	Rf	Banda	Color	Rf	Banda	Color	Rf	Banda	Color	Rf
<i>Amaranthus hypsidus</i> (Bledo)	1	Celeste	0.19	1	Azul	0.1		Verde	0.15	1	Anaranjado	0.46
	2	Anaranjado	0.25	2	Azul	0.65	1	Verde	0.29	2		0.69
	3	Celeste	0.31	3	Morado	0.71	2			3		0.75
	4	Celeste	0.44	4	Morado	0.80				4		0.81
	5	Rojo	0.63									
<i>Solanum wendlandii</i> (Quixtán)	-	-	-	1	Azul	0.38		Verde	0.06	1	Anaranjado	0.46
				2	Café	0.46	1	Verde	0.14	2		0.56
				3	Morado	0.95	2	Celeste	0.29	3		0.69
				4	Morado	0.8	3			4		0.76
										5		0.81
<i>Solanum nigrescens</i> (Macuy)	1	Anaranjado	0.50	1	Azul	0.35	1	Verde	0.06	1	Anaranjado	0.26
	2	Anaranjado	0.63	2	Café	0.76	2	Verde	0.14	2		0.46
				3	Morado	0.80	3	Celeste	0.23	3		0.56
				4	Morado	0.95	4	Celeste	0.50	4		0.69
										5		0.76
										6		0.80
<i>Moringa oleifera</i> (Moringa)	1	Celeste	0.50	1	Azul	0.35	1	Verde	0.14	1	Anaranjado	0.46
	2	Anaranjado	0.63	2	Café	0.76	2	Verde	0.23	2		0.50
	3	Amarillo	0.67	3	Morado	0.80	3	Celeste	0.29	3		0.69
				4	Morado	0.95	4	Celeste	0.50	4		0.76
										5		0.81
<i>Spinacia oleracea</i> (Espinaca)	1	Anaranjado	0.21	1	Azul	0.35	1	Verde	0.06	1	Anaranjado	0.46
	2	Rojo	0.31	2	Café	0.76	2	Verde	0.14	2		0.69
	3	celeste	0.79	3	Morado	0.80	3	Celeste	0.23	3		0.81
				4	Morado	0.95	4	Celeste	0.29			
<i>Cnidioscolus aconitifolius</i> (Chaya)	1	Amarillo	0.23	1	Azul	0.4		Verde	0.06		Anaranjado	0.46
				2	Café	0.76	1	Verde	0.14	1		0.69
				3	Morado	0.79	2	Celeste	0.23	2		0.81
				4	Morado	0.80	3	Celeste	0.29	3		
				5	Morado	0.95	4					
<i>Solanum americanum</i> (Hierba mora)	1	Anaranjado	0.13	1	Azul	0.35	1	Verde	0.06		Anaranjado	0.46
	2	Anaranjado	0.25	2	Café	0.76	2	Verde	0.14	1		0.69
	3	Celeste	0.28	3	Morado	0.80	3	Celeste	0.23	2		0.81
				4	Morado	0.95	4	Celeste	0.29	3		
							5	Verde	0.5			
<i>Sechium edule</i> (Güisquil)	1	Anaranjado	0.21	1	Café	0.76	1	Azul	0.14	1	Anaranjado	0.46
	2	Anaranjado	0.44	2	Morado	0.80	2	Celeste	0.23	2		0.81
				3	Morado	0.95	3	Verde	0.29			
<i>Dysphania ambrosioides</i> (Apazote)	1	Celeste	0.19	1	Azul	0.50	1	Azul	0.14	1	Anaranjado	0.26
	2	Anaranjado	0.25	2	Café	0.76	2	Celeste	0.23	2		0.46
	3	Anaranjado	0.35	3	Morado	0.80	3	Verde	0.29	3		0.58
	4	Amarillo	0.46	4	Morado	0.95				4		0.69
	5	amarillo	0.63							5		0.75
									6		0.81	
<i>Crotolaria longirostrata</i> (Chipilín)	1	Rojo	0.13	1	Azul	0.28	1	Verde	0.06		Anaranjado	0.46
	2	Amarillo	0.14	2	Café	0.76	2	Verde	0.14			0.69
	3	Anaranjado	0.28	3	Morado	0.80	3	Verde	0.29	1		0.81
	4	Amarillo	0.31	4	Morado	0.95				2		
	5	Anaranjado	0.44							3		
	6	Anaranjado	0.50									
<i>Lycianthes synanthera</i> (Quilete)	1	Celeste	0.14	1	Azul	0.33	1	Verde	0.14	1	Anaranjado	0.26
	2	Celeste	0.19	2	Café	0.40	2	Verde	0.29	2		0.46
	3	Anaranjado	0.44	3	Morado	0.74	3	Verde	0.50	3		0.58
	4	Anaranjado	0.54	4	Morado	0.80				4		0.69
	5	Anaranjado	0.63	5	Morado	0.95				5		0.75
	6	Anaranjado	0.69							6		0.81
Estándares	1	Rutina	0.19	1				Cumarinas	0.06		Papaverina	0.56
	2	Ácido clorogénico	0.28	2	Linalol	0.40	1		0.29	1		
					Isopulegol	0.35	2	Ác. para-cumárico	0.48	2	Atropina	0.29
								0.06				

Se puede observar en los cuadros 5 y 6, que a excepción de *S. wendlandii*, todas las hierbas nativas presentaron flavonoides en su composición, siendo *A. hybridus*, *D. ambrosioides*, *C. longirostrata* y *L. synanthera*, las que presentaron mayor número de bandas en cromatografía en capa fina. Según la relación entre los Rfs de las muestras y de los estándares en el caso de flavonoides, *A. hybridus*, *S. oleraceae*, *S. edule*, *D. ambrosioides* y *L. synanthera*, tienen en su composición ácido clorogénico; mientras que *A. hybridus*, *S. oleraceae*, *S. americanum*, *D. ambrosioides* y *C. longirostrata*, presentaron rutina dentro de su composición fitoquímica.

Todas las muestras presentaron aceites esenciales dentro de su composición fitoquímica, presentando todas las hierbas en estudio un número similar de bandas en el revelado en cromatografía en capa fina. Según la relación entre los Rfs de las muestras y de los estándares utilizados en aceites esenciales, *C. aconitifolius* presenta una banda igual a la de linalol, y *S. nigrescens*, *S. wendlandii*, *M. oleifera*, *S. oleracea*, *S. americanum* y *L. synanthera*, presentaron isopulegol, dentro de su composición fitoquímica.

En cuanto al contenido de cumarinas, *S. oleraceae*, *M. oleifera*, *C. aconitifolius*, *S. americanum* y *S. nigrescens*, fueron los que presentaron mayor número de bandas en el análisis por cromatografía en capa fina. Todas las muestras a excepción de *A. hybridus*, presentaron ácido paracumárico en su composición, y todas las muestras presentaron bandas iguales, con el estándar de cumarinas.

Todas las muestras presentaron gran número de bandas de alcaloides en su identificación, siendo *S. wendlandii*, *S. nigrescens*, *M. oleifera*, *D. ambrosioides* y *L. synanthera*, las que contienen mayor diversidad de los mismos según las bandas presentadas. Como se sabe la familia de las Solanaceas, es muy reconocida por su toxicidad debido al alcaloide solanina. *S. wendlandii*, *S. nigrescens*, *D. ambrosioides* y *L. synanthera*, presentaron papaverina dentro de su composición fitoquímica; además existe la posibilidad que *D. ambrosioides* y *L. synanthera*, debido a la relación entre los Rf del estándar, presenten atropina.

Se concluye que la presencia de múltiples bandas de diversos Rf en la mayoría de los extractos estudiados es una indicación de la diversidad fitoquímica que presentan las hierbas alimenticias, sugiriendo que además del contenido propiamente nutricional que les caracteriza, contienen moléculas fitoquímicas que pueden contribuir a otras propiedades biológicas y funcionales.

III.2 Objetivo 2

Cuantificar los niveles de oligoelementos (Mg, Cu, Zn, Fe y Mn) presentes en la hierba seca y el cocimiento de las especies, la biodisponibilidad de hierro y la presencia de compuestos antinutricionales como taninos y oxalatos.

3.2.1 Determinación del contenido de oligoelementos

En el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía se pusieron a punto los procedimientos para evaluar la cantidad de oligoelementos por técnicas de espectrofotometría de absorción atómica y de acuerdo a los procedimientos establecidos en ese laboratorio para prestar el servicio público según AOAC (2006), bajo la dirección del Dr. Anibal Sacbajá. El material seco se pulverizó y preparó para digestión (Baker & Smith, 1974); luego, el material digerido se analizó por espectrofotometría de absorción atómica (Fotografía 20).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 20. Análisis de oligoelementos por absorción atómica. **A)** El Técnico Ranferí Ampudia preparando muestras para digestión; **B)** Inga. Selena Carias leyendo la concentración de oligoelementos en el espectrofotómetro

A lo largo del proyecto se corrieron 30 muestras de las diez especies seleccionadas y dos proveniencias diferentes, las que incluyen análisis de material vegetal seco y cocido y extracto obtenido por decocción (caldo). Los oligoelementos evaluados incluyen: en g por 100 g (%) N, P, K, Ca, Mg (Cuadro 6), y en partes por millón (ppm) Fe, Mn, Cu y Zn (Cuadro 7). En términos generales las los controles positivos (*S. oleracea* y *M. oleifera*) tanto de las hojas secas y cocidas secas, como de los caldos, tienen los mejores contenidos de oligoelementos, aunque en algunos casos, los contenidos de las especies nativas se encuentran en concentraciones similares, inclusive mayores.

Cuadro 7. Contenido de elementos mayores en planta cruda seca, cocida seca, caldo y suelo (rango en triplicado de dos proveniencias)

Planta	Contenido de P en planta-suelo				Contenido de K en planta-suelo				Contenido de Ca en planta-suelo				Contenido de Mg en planta-suelo			
	Cruda %	Cocida %	Caldo Ppm	Suelo Meq/100g	Cruda %	Cocida %	Caldo ppm	Suelo Meq/100g	Cruda %	Cocida %	Caldo Ppm	Suelo Meq/100g	Cruda %	Cocida %	Caldo ppm	Suelo Meq/100g
Ah	0.28-0.37	0.21-0.26	18.4-46.3	2.6-87.0	1.1-1.6	0.69-1.06	510-810	0.3-0.7	1.3-1.7	0.7-1.6	5-8	5.7-16.5	0.1-0.2	0.1-0.2	86.2-88.8	1.4-1.5
Ca	0.26-0.38	0.20-0.22	9.6-41.5	4.5-71.0	2.3-3.2	0.88-1.06	490-600	0.4-0.5	1.9-2.2	1.2-2.1	45-72	12.5-36.2	0.3-0.4	0.2-0.3	73.8-88.8	1.9-4.2
Cl	0.24-0.28	0.10-0.20	11.2-16.7	0.6-2.6	0.7-2.1	0.13-0.31	490-580	0.2-1.0	1.1-1.4	0.7-1.0	12-68	6.0-9.7	0.2-0.3	0.1-0.2	42.5-80.0	0.9-2.1
Da	0.37-0.45	0.24-0.30	28.0-28.6	107.0-110.0	3.5-5.7	1.63-2.43	7-410	1.5-1.6	1.1-1.6	1.7-2.3	0-10	8.0-8.5	0.8-0.9	0.4-0.5	77.5-124.0	2.3-2.3
Ls	0.18-0.26	0.11-0.15	26.0-28.7	0.5-0.7	2.9-3.4	0.69-0.78	240-490	0.2-1.2	1.3-1.8	1.9-2.6	50-200	6.0-7.3	0.4-0.5	0.2-0.3	83.8-187.5	0.9-1.6
Sa	0.34	0.28	32	21	2.7	0.75	620	1.1	0.94	0.81	113	12.72	0.28	0.14	50	1.93
Se	0.51-0.6	0.34-0.37	3.5-5.9	31.9-95.0	3.3-4.9	0.63-1.13	290-350	1.0-2.0	0.3-0.7	0.3-0.7	15-20	7.5-15.5	0.2-0.3	0.1-0.2	18.2-19.0	1.5-3.2
Sn	0.27-0.36	0.16-0.21	18.5-29.0	99.0-131.0	3.8-3.9	1.44-2.0	490-500	1.1-2.0	2.1-2.8	3.1-3.6	100-120	10.7-12.2	0.7-0.8	0.5-0.7	34.5-45.0	2.4-3.6
Sw	0.19-0.20	0.11-0.16	11.0-17.4	1.7-3.7	3.6-4.4	1.13-1.38	615-730	2.2-2.3	2.0-2.2	2.0-2.8	50-155	3.4-10.0	0.4-0.8	0.3-0.4	115.0-150.0	0.6-2.6
Mo	0.19-0.33	0.30-0.37	30.4-32.8	67.0-105.0	1.0-1.9	3.44-3.55	400-650	3.3-4.2	0.8-2.1	1.1-1.4	150-225	9.7-11.5	0.2-0.4	0.2-0.3	75.0-102.5	3.3-4.6
So	0.36-0.50	0.23-0.25	7.4-33.9	34.0-87.0	0.4-0.5	0.23-0.25	550-630	0.8-3.4	0.6-0.7	0.8-1.2	0-8	9.5-14.0	1.0-1.1	0.6-0.8	66.2-161.0	2.3-5.6

Fuente: FODECYT 69-2012

Cuadro 8. Contenido de elementos menores en planta cruda seca, cocida seca, caldo y suelo (rango en triplicado de dos proveniencias)

Planta	Contenido de Fe en planta-suelo (ppm)				Contenido de Mn en planta-suelo (ppm)				Contenido de Cu en planta-suelo (ppm)				Contenido de Zn en planta-suelo (ppm)			
	Cruda	Cocida	Caldo	Suelo	Cruda	Cocida	Caldo	Suelo	Cruda	Cocida	Caldo	Suelo	Cruda	Cocida	Caldo	Suelo
Ah	90-240	90-255	0.4-0.5	17-19	45-340	40-370	0.3-3.3	50-72	10-12	10-15	0.01-0.1	0.5-4	70-80	70-105	0.4-0.6	4-10
Ca	75-185	80-160	1.4-1.6	0.01-14	55-60	50-55	0.5-0.8	15-23	1-10	5-7	0-0.01	0.01-2	40-45	40-45	0.3-0.5	2-3
Cl	80-105	105-115	0.01-0.4	4-5	30-100	20-85	0.3-1.3	9-50	3-5	5-8	0.01-0.04	1.8-10	30-35	15-20	0.05-0.5	1-7
Da	60-100	85-105	0.01-0.3	15-30	360-465	265-430	4.8-5.2	12-53	0.01-5	0.01-10	0-0.01	2-4	130-160	155-165	0.6-0.9	5-17
Ls	75-140	90-95	0-0.01	1.2-3.5	15-80	15-85	0.4-1.1	11-12	7-20	8-15	0-0.05	0.15-0.25	30-45	10-15	0.4-0.6	1-2
Sa	80	150	0.2	1	50	50	0.6	19	5	10	0.01	0.5	50	35	0.8	22
Se	70-100	85-95	0-0.01	2-22	20-85	25-105	0.01-15	25-51	10-15	10-18	0.01-0.1	0.5-2.5	35-40	20-25	0.3-1.5	11-30
Sn	95-130	85-155	0.01-0.3	21-25	145-230	110-225	1.3-2.2	14-54	0.01-5	0.01-10	0-0.1	1-3	35-40	25-30	0.5-0.7	14-24
Sw	75-120	100-150	0-0.4	5-16	25-45	20-35	0.3-0.5	13-75	5-10	5-10	0-0.01	0.5-1	25-45	2-25	0.4	5-7
Mo	105-135	185-210	0-0.5	15-60	25-30	20-25	0.5-0.6	27-75	5-70	5-50	0-0.8	1-2	20-25	20-28	0.2-0.4	3-4
So	220-280	260-345	0.04-0.8	12-42	45-55	25-45	0.4-0.6	17-72	5-10	10-15	0.01-0.1	2-3	90-140	70-140	0.3-0.9	4-6

Fuente: FODECYT 69-2012

En el Cuadro 7 se observan los datos obtenidos de los principales macroelementos (P, K, Ca, Mg) tanto en la hierba seca, como cocida, el caldo y el suelo del lugar de proveniencia. Con los datos obtenidos podemos decir que el caldo es la forma en la que menor cantidad de cada uno de los macroelementos se encuentra, demostrando que se debe consumir la hierba para que la cantidad ingerida sea representativa y alcance niveles útiles para la alimentación humana. En este cuadro es algo difícil apreciar las diferencias por las diferentes dimensionales en uso por el contenido de cada elemento.

En el caso de P en la hierba seca, las puntas de *S. edule* y hojas de *D. ambrosioides* son las que presentan mayor cantidad de este elemento, aún más que los controles; en el caldo presenta una disminución luego de cocer las hojas, con excepción de la *M. oleifera*, única planta en la que se observa un aumento en el valor de este elemento. En el caso de K y Ca varias de las hierbas nativas presentan mayor contenido en la hierba seca que los controles, encontrándose menores cantidades en el caldo. En el caso de Mg todas las hierbas nativas presentan un contenido similar a los controles, pero *S. wendlandii*, *A. hybridus* y *L. synanthera* presentan cantidades elevadas en el caldo, inclusive superior a los controles.

En el Cuadro 8 se observa la concentración determinada de los principales oligoelementos en las especies vegetales (Fe, Mn, Cu y Zn), en donde podemos observar que *S. oleracea* es la planta que domina en mayor cantidad en su contenido de Fe, comparando todas las plantas del estudio, pero en cuanto a las plantas nativas, *A. hybridus* es la que mayor cantidad de Fe presenta. Podemos observar además que no necesariamente el suelo con mayor cantidad del mineral proporciona a las hojas una mayor cantidad de este, ya que la cuantificación de los minerales en los suelos, no coincide con ninguno de los mineral elevados en las hojas e incluso no coincide con las cantidades encontradas en los caldos. En el caso de Fe la decocción de las hojas ayuda a la liberación de este, lo cual no sucede con los otros minerales, ni se trata de un patrón en todas las especies estudiadas.

En cuanto a Mg y Zn la planta nativa que aporta mayor cantidad es *D. ambrosioides* y la mayor cantidad de Cu es proporcionada por *L. synanthera*. Las especies usadas como control presentan valores con poca variación pero siendo dominante *S. oleracea* quien presenta mayor cantidad de minerales ya que en cuando el Zn tiene la mayor cantidad en todas las formas evaluadas, en Fe y Mg presenta la mayor cantidad de todas las formas de la planta, dejando fuera el suelo. *M. oleifera* presenta los mejores valores en cuanto a Cu en la planta dejando fuera el suelo. Al comparar los resultados de los minerales de las plantas control con las plantas nativas vemos que los valores en las plantas control son mayores en Fe y Cu, pero en cuanto a Zn y Mn las plantas nativas presentan mayor cantidad de estos minerales.

Si bien los valores de los elementos minerales en los suelos es bastante variable, en términos generales podemos decir que los valores de los mismos en el suelo tienen poca relevancia en el contenido en la hierba seca, ya que no se encontró un aumento manifiesto en las hierbas en suelos ricos en los elementos o bien una marcada disminución de los elementos en los suelos relativamente pobres.

3.2.2 Determinación de la biodisponibilidad de Fe

El segundo componente de este objetivo fue la determinación de la biodisponibilidad de Fe. Este procedimiento se montó por primera vez en Guatemala. Durante el cuarto trimestre se completó la adquisición de insumos para la prueba, se revisaron nuevamente los procedimientos disponibles, y se consultó literatura adicional con el cual se corrigió el procedimiento preliminar para determinar la biodisponibilidad de Fe en hierbas y establecer el procedimiento específico (POE #4).

Durante el quinto trimestre se estandarizó y se puso a punto el método de biodisponibilidad de Fe, utilizando cloruro férrico (FeCl_3) como compuesto estándar a diferentes concentraciones con las que se obtuvo una curva de calibración. Se elaboraron los reactivos necesarios, con las concentraciones indicadas en la bibliografía consultada. Se llevaron a cabo varias repeticiones, las cuales ayudaron a determinar la mejor metodología de trabajo, sin dejar de cumplir con los requisitos de la prueba y tipo de cuantificación. Luego se determinó el tiempo prudente para llevar a cabo el procedimiento completo de cuantificación, ya que se invierten varias horas durante tres días. Con la información generada estandarizó el procedimiento mediante la evaluación de muestras contaminadas para determinar el procedimiento definitivo. Se contaminaron muestras de *S. nigrescens* con 2.5 y 5.0 mg de FeCl_3 , obteniendo resultados bastante reproducibles en cuanto a la cantidad de Fe presente en la cuantificación de este material vegetal (Cuadro 9) (Sotelo, et al., 2010).

Cuadro 9. Estandarización del método para cuantificar la biodisponibilidad de Fe

Espece	Tipo de muestra	Lugar de colecta	mg de hierro absorbido	Desviación estándar
<i>S. nigrescens</i>	Contaminada con 2.5 mg de FeCl_3	Nueva Concepción, Escuintla.	2.98	± 0.24
<i>S. nigrescens</i>	Contaminada con 5 mg de FeCl_3	San José Pinula, Guatemala.	5.52	± 0.29

Fuente: FODECYT 69-2012

La determinación de las condiciones adecuadas para la realización de este ensayo fue exhaustiva y se logró perfeccionar hasta el quinto trimestre. El Fe se pudo cuantificar de tres maneras: (a) Cuantificación de Fe presente en la planta luego de remojarla durante 6 horas, esto para que se desprenda Fe de la planta cuantificando el Fe presente en la solución filtrada, estos valores en su mayoría fueron elevados, siendo *A. hybridus* (3.327 mg/g) la que presentó la mayor cantidad de Fe. (b) Droga vegetal digerida que se especifica en el POE #4, luego del proceso correspondiente fue sustraída de la bolsa de diálisis y lavada con 100 mL de agua destilada, eso fue filtrado y luego se realizó la cuantificación de Fe, estos datos no son válidos por el hecho de que durante el proceso se agregan sustancias que aumentan el color y turbidez de la misma dificultando su análisis. (c) La solución en la que se encontraba la bolsa de diálisis, durante 2 h; siendo este último el dato el de mayor relevancia para este

estudio ya que se trata de la cantidad de hierro capaz de ser absorbido y aprovechado por el cuerpo humano (Fotografía 21).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 21. Determinación de biodisponibilidad de hierro por un método macrométrico evaluado por espectrofotometría UV-Vis

Los resultados en el Cuadro 10 identifican tres partes en las que se cuantificó Fe, estas son: (a) Fe detectable en el sobrenadante obtenido de la hidratación de la planta por 6 horas, estos valores en su mayoría fueron elevados ya que al ser un método colorimétrico la hidratación permite la disolución de otros compuestos coloreados de la planta; de las plantas nativa, *A. hybridus* presentó la mayor cantidad de Fe (3.40 mg/g). (b) Droga vegetal digerida que se especifica en el POE #4 esta planta luego del proceso correspondiente fue sustraída de la bolsa de diálisis y lavada con 100 mL de agua destilada, eso fue filtrado y luego cuantificó el Fe, estos datos no son válidos por el hecho de que durante el proceso se agregan sustancias que aumentan el color y turbidez de la misma, la planta que mayor cantidad presentó fue *D. ambrosioides* (4.01 mg/g). (c) Por último la solución en la que se colocó la bolsa de diálisis, durante 2 horas, este último dato es el de mayor relevancia para este estudio, ya que se trata de la cantidad de Fe capaz de difundirse hacia los enterocitos, ser absorbido y aprovechado por el cuerpo humano; se observa que de las plantas control *M. olifera* presenta el valor más elevado

así como de todas las plantas del estudio, pero *A. hybridus* presenta valores no muy distanciados de la *M. oleifera* y mayores a *S. oleracea*, que también se ve superada por *L. synanthera* y *C. longirostrata*. Recordemos que *S. olearcea* es la planta que mayores valores de Fe presentó en sus hojas tanto secas como cocidas, por lo que es importante relacionar estos datos con los de los antinutrientes para ver si, esta planta posee una alta cantidad de antinutrientes que afecten la absorción del Fe.

Cuadro 10. Determinación de la biodisponibilidad de Fe por espectrofotometría

Planta	mg de Fe biodisponible/ 1g de droga vegetal seca		
	Remojada	Digerida	Dializado
<i>A. hybridus</i>	2.14 – 3.40*	0.69 – 1.39	0.89 – 1.11
<i>C. aconitifolius</i>	1.31 – 1.49	0.48 – 0.55	0.16 – 0.17
<i>C. longirostrata</i>	0.83 – 0.87	0.95 – 1.07	0.34 – 0.46
<i>D. ambrosioides</i>	1.35 – 2.55	1.42 – 4.01	0.83 – 1.17
<i>L. synanthera</i>	0.47 – 0.54	0.29 – 0.35	0.13 – 0.18
<i>S. americanum</i>	0.85 – 0.89	0.60 – 0.64	0.22 – 0.29
<i>S. edule</i>	1.06 – 1.25	0.27 – 0.71	0.41 – 0.45
<i>S. nigrescens</i>	1.31 – 1.56	0.73 – 0.87	0.66 – 0.71
<i>S. wendlandii</i>	0.90 – 1.21	0.42 – 0.65	0.50 – 0.57
<i>M. oleifera</i>	1.32 – 2.12	1.29 – 1.10	0.53 – 0.58
<i>S. oleracea</i>	1.31 – 1.46	0.91 – 1.20	0.39 – 0.45

Fuente: FODECYT 69-2012

* Rango de lecturas analizadas en triplicado de dos proveniencias diferentes

En la Tabla 10 se identifican tres partes en las que se cuantificó el Fe: (1) Fe detectable en el sobrenadante de la hidratación de la planta seca durante 6 h, estos valores fueron elevados ya que al ser un método colorimétrico la hidratación permite la disolución de otros compuestos coloreados; de las plantas nativas *A. hybridus* (2.14-3.40 mg/g) presentó la mayor cantidad. (2) Material vegetal que después de la digestión fue sustraído del tubo de diálisis, lavado con agua destilada, filtrado y cuantificado el Fe, estos datos tienen poco valor por que durante el proceso se agregan sustancias que aumentan el color y turbidez; la planta con mayor cantidad fue *D. ambrosioides* (1.42-4.01 mg/g). (3) La solución en la que se colocó la bolsa de diálisis durante 2 h, este último dato es el de mayor relevancia, ya que es la cantidad de Fe capaz de difundirse hacia los enterocitos, ser absorbido y aprovechado por el cuerpo, de las plantas control *M. oleifera* presenta el valor más elevado (0.53-0.58 mg/g), pero es superado por *A. hybridus* (0.89-1.11 mg/g), *D. ambrosioides* (0.83-1.17 mg/g) y *S. nigrescens* (0.66-0.71 mg/g) que presentan mayor concentración. Debe notarse que *S. olearcea* es la planta que mayores valores de Fe presentó tanto en hojas secas como cocidas en la cuantificación por absorción atómica, por lo que es importante relacionar estos datos con los de los anti-nutrientes para saber si este contenido de Fe está realmente disponible.

3.2.3 Determinación de la presencia de factores antinutricionales.

El tercer elemento importante de este objetivo fue la evaluación del contenido de factores antinutricionales en las hierbas alimenticias, los cuales insolubilizan por quelación o inhiben procesos enzimáticos, haciendo que los elementos minerales estén poco disponibles a partir de la dieta. Los dos compuestos antinutricionales que se evaluaron son los oxalatos y taninos.

Usando las dos especies colectadas inicialmente se hicieron curvas de calibración para poner a punto la metodología para cuantificación del contenido de taninos usando ácido tánico como estándar (AOAC, 2006) y elaborar el POE respectivo. La metodología y PEO fueron explicados con detalle en los informes trimestrales correspondientes. En términos generales el proceso consiste en la elaboración de la curva de calibración para la cuantificación de taninos por espectrofotometría, preparación de diversas concentraciones de ácido tánico, adición de solución de amonio y citrato férrico, y, agitación previa a realizar lectura en espectrofotómetro a 525 nm (Fotografía 22).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 22. Elaboración de la curva de calibración para la cuantificación de taninos por espectrofotometría. **A)** Preparación de diversas concentraciones de ácido tánico; **B)** Adición de solución de amonio y citrato férrico; **C)** Agitación previa a realizar lectura en espectrofotómetro.

Con la metodología estandarizada se hicieron siete repeticiones de tres réplicas cada una (21 réplicas por cada especie, tipo de muestra y región), para la cuantificación de los taninos en las muestras de la planta seca, caldo y planta cocida, para las diez especies seleccionadas del proyecto, incluyendo la muestra de una segunda proveniencia en todas; en el caso de *S. americanum* solamente se realizó el muestreo en una proveniencia, por lo que se hace un total de 11 muestras. La cuantificación de taninos se realizó en el material vegetal en forma similar a la estandarización del método, pero después de una extracción con dimetilformamida y luego se sometió a la reacción con amonio y citrato férrico y se realizó la cuantificación estectrofotométrica a 525 nm (Fotografía 23).

En el Cuadro 11 se observa que las hierbas que presentaron mayor contenido de taninos en planta seca en orden descendente son: *S. edule*, *D. ambrosioides*, *L. synanthera*, *C. longirostrata*, *M. oleifera*, *S. nigrescens*, *S. wendlandii*, *C. aconitifolius*, *S. oleracea* y *A. hybridus*. Las hierbas que presentaron mayor contenido de taninos en caldo en orden descendente son: *S. oleracea*, *L. synanthera*, *S. nigrescens*, *S. americanum*, *S. wendlandii*, *M. oleifera*, *C. aconitifolius*, *S. edule* y *C. longirostrata*. Las hierbas con mayor contenido de taninos en planta cocida y deshidratada en orden descendente son: *L. synanthera*, *S. nigrescens*, *C. longirostrata*, *C. aconitifolius*, *D. ambrosioides*, *A. hybridus*, *S. edule*, *M. oleraceae*, *S. wendlandii* y *S. americanum*.



Fuente: FOELCTT 09-2012

Fotografía 23. Cuantificación de taninos por espectrofotometría. **A)** Extracción de taninos con dimetilformamida; **B)** Adición de solución de amonio y citrato férrico; **C)** Lectura en espectrofotómetro a 525 nm

Las hierbas habituales en la dieta poseen una naturaleza compleja y pueden presentar en su composición, además de los elementos alimenticios, sustancias con cierta capacidad para disminuir su valor nutritivo o impedir su absorción adecuada. Por ello estas sustancias reciben el apelativo de antinutrientes o antinutricionales. Los antinutrientes se denominan como sustancias que por ellas mismas o a través de productos metabólicos generados en el organismo, interfieren en la utilización de los alimentos, pudiendo afectar la salud de los consumidores (Morales & Troncoso, 2012).

Los taninos que se han cuantificado en este ensayo, son un grupo de compuestos polifenólicos, que quelan los nutrientes elementales como Fe y Zn, por lo que reducen la absorción, insolubilizan los minerales o sus cofactores, inhiben las enzimas digestivas, precipitando las proteínas y disminuyendo su disponibilidad en la dieta (Beecher, 2003). Algunas especies tienen contenidos de taninos relativamente elevados, lo que podría hacer que los oligoelementos contenidos no estén disponibles para aprovechamiento por el ser humano, en vista de encontrarse en la naturaleza en forma quelada, por lo que son de poca absorción y baja disponibilidad.

Las hierbas en estudio presentan menor cantidad de taninos de la siguiente forma: *L. synanthera*, *S. americanum*, *S. oleraceae* en planta seca. *A. hybridus*, *D. ambrosioides*, *C. aconitifolius*, *C. longirostrata*, *M. oleraceae*, *S. edule* y *S. nigrescens* en las muestras de caldo, por lo que se recomienda que su consumo sea de esta manera; y finalmente *S. wendlandii* en planta cocida, por lo que se recomienda la ingesta de planta cocida, ya que presentará mejor aprovechamiento de los nutrientes presentes en la planta. Esto indica que sus nutrientes pueden ser mejor absorbidos por el organismo de la forma en que presentan la menor cantidad de taninos.

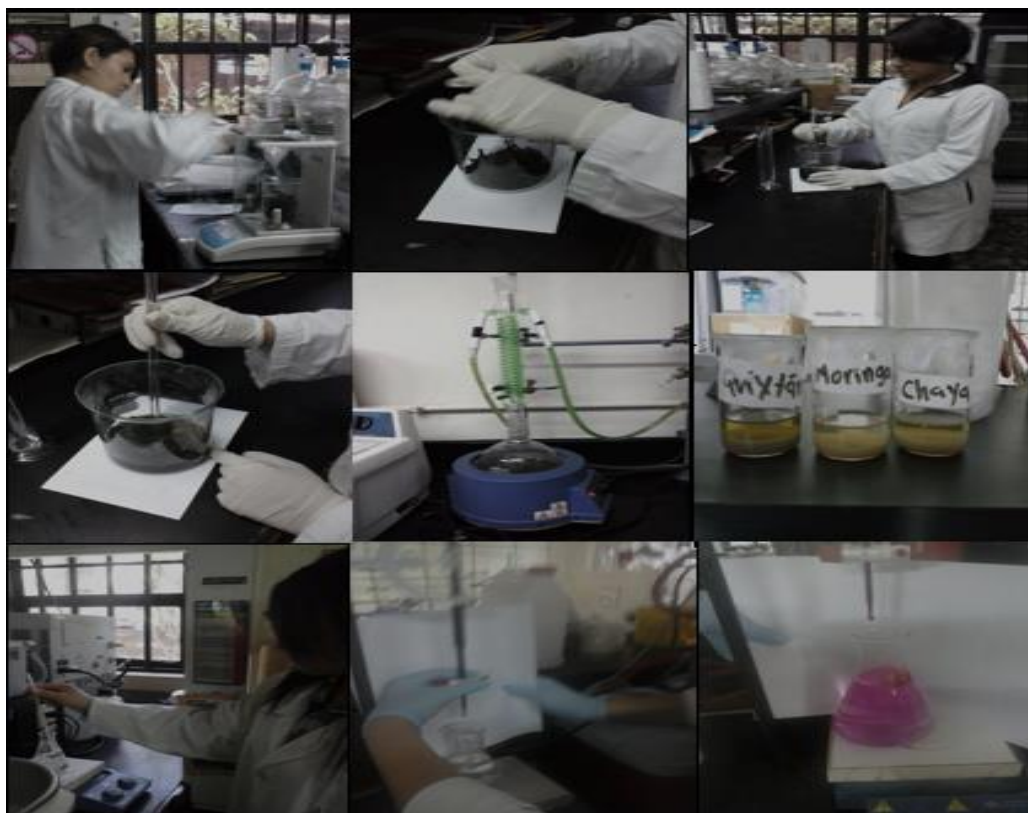
Cuadro 11. Cuantificación de taninos por espectrofotometría

Especie	Tipo de muestra	Lugar de colecta	mg de taninos *
Ah1	Planta seca	Aldea El Pinalito, San Pedro Pinula, Jalapa	0.11 ± 0.06
	Caldo		0.06 ± 0.02
	Planta cocida		0.10 ± 0.10
Ah2	Planta seca	Cantón Albisurez Chiquimulilla, Santa Rosa	0.06 ± 0.04
	Caldo		0.02 ± 0.01
	Planta cocida		0.05 ± 0.02
Da1	Planta seca	Aldea Los Turuy, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	0.65 ± 0.06
	Caldo		0.12 ± 0.08
	Planta cocida		0.24 ± 0.08
Da2	Planta seca	Cantón Los Chavac, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	0.54 ± 0.05
	Caldo		0.22 ± 0.03
	Planta cocida		0.11 ± 0.05
Ca1	Planta seca	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	0.19 ± 0.05
	Caldo		0.18 ± 0.02
	Planta cocida		0.49 ± 0.06
Ca2	Planta seca	UVIGER, USAC, Campus Central zona 12	0.19 ± 0.02
	Caldo		0.18 ± 0.12
	Planta cocida		0.50 ± 0.07
Cl1	Planta seca	San Bernardino, Suchitepéquez	0.28 ± 0.03
	Caldo		0.16 ± 0.14
	Planta cocida		0.37 ± 0.09
Cl2	Planta seca	Cantón de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	0.65 ± 0.06
	Caldo		0.06 ± 0.04
	Planta cocida		0.33 ± 0.14
Ls1	Planta seca	Ecoparcela El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	0.52 ± 0.13
	Caldo		0.68 ± 0.15
	Planta cocida		0.15 ± 0.09
Ls2	Planta seca	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz	0.68 ± 0.06
	Caldo		0.80 ± 0.05
	Planta cocida		0.48 ± 0.09
Mo1	Planta seca	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	0.09 ± 0.06
	Caldo		0.13 ± 0.12
	Planta cocida		0.05 ± 0.01
Mo2	Planta seca	Rancho El Simarrón, km 25 ½ carretera a Mataquesuintla, San José Pinula, Guatemala.	0.41 ± 0.06
	Caldo		0.18 ± 0.08
	Planta cocida		0.20 ± 0.11
Se1	Planta seca	Aldea El Paraíso, San José Pinula, Guatemala	0.06 ± 0.38
	Caldo		0.14 ± 0.11
	Planta cocida		0.06 ± 0.02
Se2	Planta seca	Km 20 carretera a El Salvador, Frajanes, Guatemala	0.82 ± 0.09
	Caldo		0.08 ± 0.00
	Planta cocida		0.15 ± 0.04
So1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez,	0.13 ± 0.07
	Caldo		0.86 ± 0.60
	Planta cocida		0.07 ± 0.09
So2	Planta seca	La Comunidad Santiago Sacatepéquez	0.10 ± 0.09
	Caldo		0.75 ± 0.04
	Planta cocida		0.10 ± 0.08
Sa1	Planta seca	San Bernardino, Suchitepéquez	0.05 ± 0.01
	Caldo		0.21 ± 0.09
	Planta cocida		0.11 ± 0.09
Sn1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez,	0.52 ± 0.05
	Caldo		0.21 ± 0.05
	Planta cocida		0.57 ± 0.06
Sn2	Planta seca	Aldea Loma Alta, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	0.41 ± 0.05
	Caldo		0.50 ± 0.03
	Planta cocida		0.51 ± 0.11
Sw1	Planta seca	Ecoparcela El KaKawatal, Samayac, Suchitepéquez	0.06 ± 0.02
	Caldo		0.13 ± 0.08
	Planta cocida		0.05 ± 0.00
Sw2	Planta seca	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	0.26 ± 0.09
	Caldo		0.19 ± 0.08
	Planta cocida		0.20 ± 0.09

Fuente: FODECYT 69-2012

*mg de taninos en 1 g de muestra o en 1 mL de caldo.

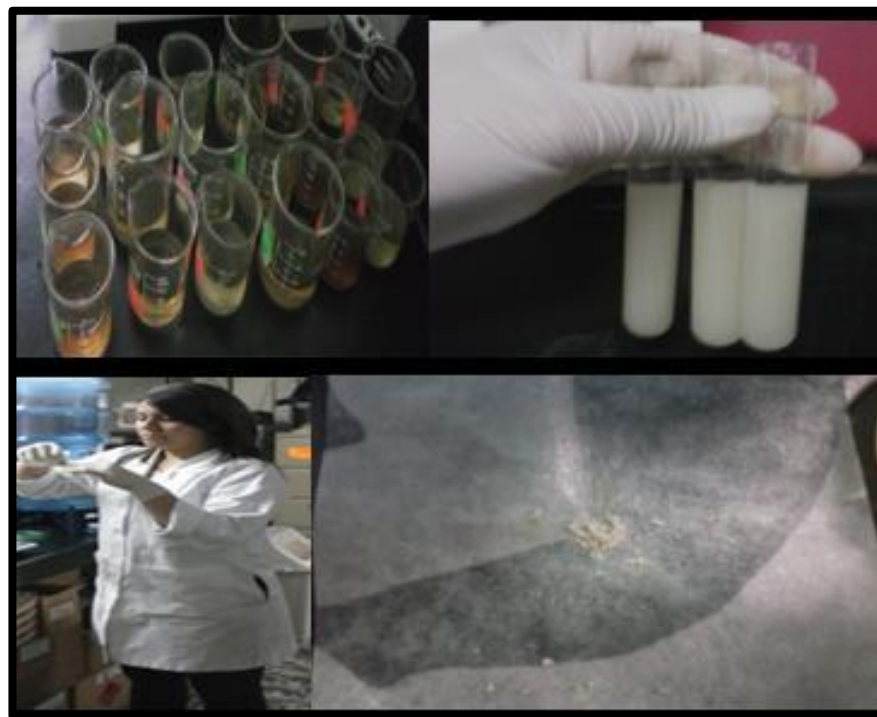
Se puso a punto el método de cuantificación de oxalatos, otros compuestos con actividad antinutricional, usando como materia vegetal de ensayo las hojas de *C. aconitifolius*. Por falta de información en la literatura consultada acerca de las concentraciones a utilizar en la metodología escogida, a través de múltiples ensayos se determinó la concentración que mejor se adapta a la metodología y tipo de cuantificación (Fotografía 24).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 24. Estandarización de la cuantificación de oxalatos: **A)** Pesaje de materia vegetal; **B)** Reducción de tamaño; **C y D)** Extracción con agua desmineralizada por agitación; **E)** Reflujo; **F)** Adición de ácido fosfotúngstico; **G)** Preparación de solución de oxalatos; **H)** Valoración con permanganato de potasio; **I)** Coloración al momento del viraje.

Se determinó el tiempo prudente para realizar el procedimiento de cuantificación, ya que se invierten varias horas durante tres días. Con la información generada se elaboró el POE #3 y se validó el procedimiento por la evaluación de muestras problema y contaminadas. Se contaminaron muestras de *C. aconitifolius* con 250 mg de oxalato de sodio y otras muestras con 100 mg, obteniendo así un resultado acertado en cuanto a la cantidad de oxalatos totales presentes en el extracto. Con esta metodología validada se determinó la concentración de oxalatos en los materiales (Fotografía 25, Cuadro 12).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 25 Extracción y cuantificación de oxalatos. **A)** Adición de ácido fosfotúngstico; **B)** Adición se solución amortiguadora; **C)** Filtrado; **D)** Obtención de oxalatos

En el Cuadro 12 se observan las hierbas que presentaron mayor contenido de oxalatos en planta seca (*S. oleracea*, *L. synanthera*, *S. nigrescens* y *S. americanum*), en caldo (*S. oleracea*, *L. synanthera*, *A. hybridus* y *S. nigrescens*) y en planta cocida y deshidratada (*A. hybridus*, *L. synanthera*, *C. aconitifolius* y *D. ambrosioides*).

Al igual que con los taninos, los contenidos altos de oxalatos en las hierbas son indicadores de actividad antinutricional, ya que el ácido oxálico es un quelante de minerales como Ca, Fe, Mg, Cu y Zn, con los que forma complejos insolubles, y les hace precipitar, y por ende impide su absorción. El organismo suele tolerar cierta cantidad de oxalatos, sin embargo un consumo excesivo puede producir déficit de minerales, cálculos renales, y efectos tóxicos que pueden causar dolor abdominal, gastroenteritis, diarrea, vómitos y alteraciones en la coagulación (Negri, Spivacow, & Del Valle, 2013); incluso su consumo puede llegar a ser letal, en dosis elevadas a 5 g en adultos.

Es de hacer notar que *S. oleracea* es la especie que presenta mayor contenido de oxalatos, tanto en la planta seca como en el caldo. Respecto a las otras especies, la revisión de la literatura demuestra que *L. synanthera* ha demostrado una buena concentración de elementos minerales, pero una alta cantidad de factores antinutricionales, aunque la decocción durante 15 min elimina estos factores (Salazar et al., 2006).

Cuadro 12. Cuantificación de oxalatos por permanganimetría

Especie	Tipo de muestra	Lugar de colecta	mg de oxalatos *
Ah1	Planta seca	San Pedro Pinula, Jalapa	36.21 ± 9.88
	Caldo		24.48 ± 8.34
	Planta cocida		66.36 ± 9.88
Ah2	Planta seca	Cantón Albisurez, Chiquimulilla	37.8 ± 5.34
	Caldo		22.09 ± 3.00
	Planta cocida		41.95 ± 4.04
Da1	Planta seca	San Juan Sacatepéquez, Guatemala	33.50 ± 2.00
	Caldo		21.69 ± 3.65
	Planta cocida		21.93 ± 5.04
Da2	Planta seca	Cantón Los Chavac, San Juan Sacatepéquez	34.20 ± 1.00
	Caldo		20.00 ± 1.10
	Planta cocida		19.80 ± 0.90
Ca1	Planta seca	UVIGER, USAC, Campus Central zona 12	13.79 ± 7.31
	Caldo		12.92 ± 7.75
	Planta cocida		24.80 ± 6.74
Ca2	Planta seca	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	9.06 ± 0.81
	Caldo		26.03 ± 10.08
	Planta cocida		11.08 ± 8.34
Cl1	Planta seca	San Bernardino, Suchitepéquez	86.10 ± 6.01
	Caldo		25.60 ± 7.75
	Planta cocida		7.97 ± 7.31
Cl2	Planta seca	Cantón de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	13.95 ± 9.67
	Caldo		25.60 ± 7.75
	Planta cocida		9.73 ± 6.74
Ls1	Planta seca	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz	67.87 ± 8.57
	Caldo		40.99 ± 10.08
	Planta cocida		32.22 ± 9.67
Ls2	Planta seca	Ecoparcela El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	44.74 ± 10.78
	Caldo		50.25 ± 0.00
	Planta cocida		44.66 ± 9.67
Mo1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez,	12.60 ± 10.08
	Caldo		18.90 ± 10.78
	Planta cocida		10.44 ± 10.41
Mo2	Planta seca	El Simarrón, San José Pinula, Guatemala.	36.77 ± 6.44
	Caldo		11.96 ± 6.01
	Planta cocida		18.26 ± 5.04
Se1	Planta seca	Km 20 carretera a El Salvador, Fraijanes, Guatemala	20.33 ± 6.01
	Caldo		11.64 ± 3.66
	Planta cocida		8.29 ± 3.66
Se2	Planta seca	Aldea El Paraíso, San José Pinula, Guatemala	19.73 ± 5.01
	Caldo		23.85 ± 3.86
	Planta cocida		7.29 ± 0.66
So1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez,	72.26 ± 6.01
	Caldo		60.14 ± 10.47
	Planta cocida		27.27 ± 9.39
So2	Planta Seca	La comunidad de Santiago, Sacatepéquez	62.33 ± 5.01
	Caldo		70.12 ± 0.47
	Planta cocida		17.38 ± 5.40
Sa1	Planta seca	Samayac, Suchitepéquez	41.79 ± 3.65
	Caldo		25.04 ± 3.66
	Planta cocida		11.56 ± 5.03
Sn1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez,	45.50 ± 7.31
	Caldo		15.55 ± 10.78
	Planta cocida		10.87 ± 8.57
Sn2	Planta seca	Samayac, Suchitepéquez	21.69 ± 3.65
	Caldo		41.87 ± 4.10
	Planta cocida		16.90 ± 5.04
Sw1	Planta seca	Ecoparcela El KaKawatal, Samayac, Suchitepéquez	20.81 ± 10.01
	Caldo		23.76 ± 10.08
	Planta cocida		29.35 ± 10.08
Sw2	Planta seca	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	19.91 ± 8.01
	Caldo		28.79 ± 8.00
	Planta cocida		29.42 ± 9.08

Fuente: FODECYT 69-2012

*mg de oxalatos en 1g de muestra o 1 mL caldo

3.2.4 Determinación de la concentración de selenio

Como una ganancia para los objetivos del proyecto, se presentó un proyecto a la convocatoria de Seminarios de Tesis de la Escuela de Química Biológica, lográndose que cuatro estudiantes se inscribieran para realizar el Seminario “Evaluación del contenido de selenio en hojas de vegetales nativos de uso tradicional en la alimentación del guatemalteco”. Estas son las estudiantes: Madaf Alvarado (carné 200717679), Edith Cabrera (carné 200717872), Gabriela Mancilla (carné 200515246) y Sonia Tumax (carné 200810235 (Fotografía 26).

Las actividades realizadas durante este trimestre fueron: Recopilación de información; búsqueda de metodologías para determinación de selenio en hierbas en diversos centros de información (Toxicología, Farmaya, USAC, COGUANOR); coordinación de actividades con el Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía (donde se realizarían las mediciones); elaboración del plan de investigación con el asesor; y presentación a la Dirección de Escuela del Anteproyecto de Tesis para su revisión y aprobación. Durante este trimestre se colectó *Solanum americanum* en la Ecoparcela El Kakawatal, Samayac para complementar el muestreo que se está realizando en el marco del proyecto.

Por dificultades en el equipo de la Facultad de Agronomía para la cuantificación del Se, se ha establecido contacto con un laboratorio privado (Lic. Rony Ayala) para realizar estos análisis por difracción de rayos X, los cuales son resultados complementarios al desarrollo de este proyecto. Los resultados de este análisis serán presentados como parte del Seminario de Tesis de las estudiantes.



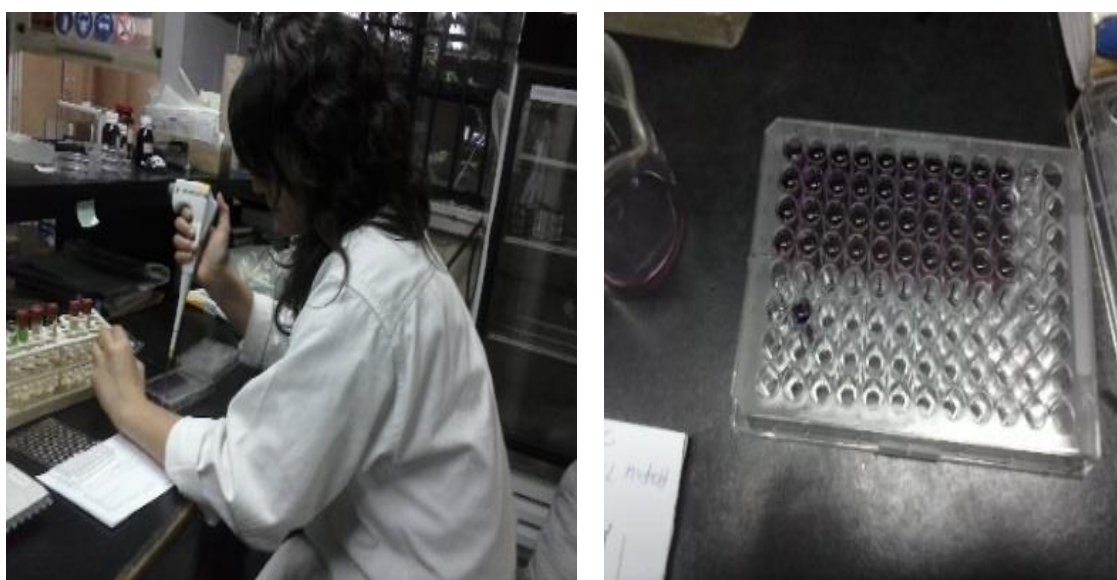
Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 26. Estudiantes participantes en el Seminario de Tesis sobre determinación de la concentración de selenio con el Asesor.

3.3 Objetivo 3

Determinar la actividad antioxidante de los alimentos colectados por las técnicas de DPPH y fenoles totales por métodos micrométricos.

Durante el segundo trimestre, se llevó a cabo la estandarización del método de determinación de la actividad antioxidante, por medio de la técnica de DPPH a través de un método micrométrico (Fotografía 27), llevando a cabo las pruebas con la metodología propuesta, haciendo uso de cuatro estándares (Cuadro 13), realizando el método dos analistas y usando un equipo de microcolorimetría modelo Elx800 de Biotek, con lo cual se determinó las concentraciones e inhibición del radical libre y el CI_{50} .



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 27. Actividad antioxidante por el método micrométrico de DPPH

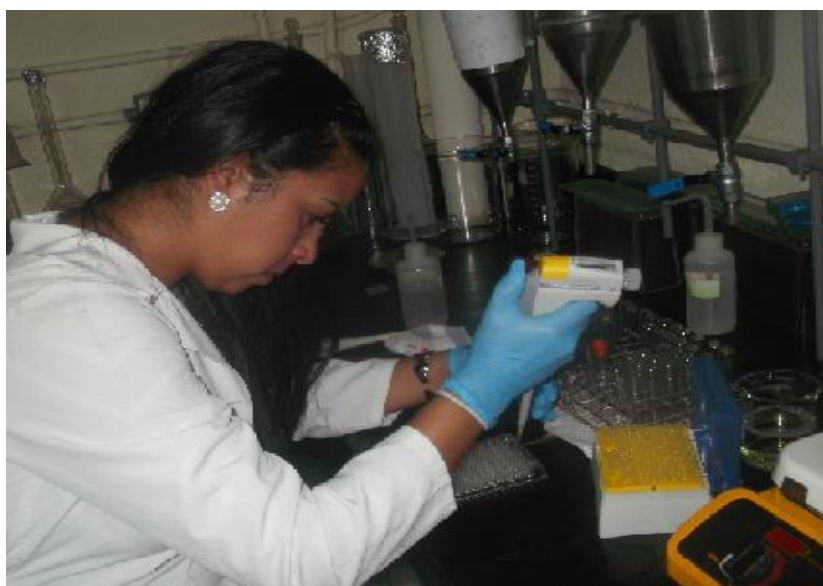
Cuadro 13. Estandarización del método micrométrico de actividad antioxidante por DPPH

Muestra	%±DE	CI_{50}	Muestra	%±DE	CI_{50}
Vitamina C1	13.11±1.24	0.102	Rutina 1	21.92±1.21	0.195
Vitamina C2	26.41±1.81		Rutina 2	31.09±2.08	
Vitamina C3	40.47±2.70		Rutina 3	37.34±9.74	
Vitamina C4	52.05±3.23		Rutina 4	49.00±4.52	
Vitamina C5	67.67±5.54		Rutina 5	61.83±3.50	
Quercetina 1	27.12±1.13	0.065	TBHQ1	34.82±1.66	0.112
Quercetina 2	42.12±0.97		TBHQ2	53.61±1.72	
Quercetina 3	51.17±1.52		TBHQ3	66.78±5.57	
Quercetina 4	60.13±0.94		TBHQ4	78.78±3.70	
Quercetina 5	67.92±1.10		TBHQ5	88.46±1.19	

Fuente: FODECYT 69-2012

Se concluye que es un método que permite el análisis de varias muestras a la vez lo que disminuye el tiempo y la cantidad de reactivos utilizados en comparación con el macrométrico que es el principalmente usado, debido a que se experimentó conjuntamente con varios investigadores de otros proyectos, y la desviación estándar fue mucho menor a la obtenida por el método macrométrico. Con la información generada se elaboró el POE #6.

En el penúltimo trimestre se determinó la actividad antioxidante por la técnica micrométrica de DPPH; se analizaron los caldos, hoja seca y hoja cocida seca mediante la realización de siete repeticiones de tres réplicas para hacer un total de 21 réplicas por especie, tipo de muestra y región (Fotografía 28).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 28. Determinación de actividad antioxidante de las hierbas en estudio por la segunda analista, usando el método micrométrico de DPPH

En el Cuadro 14 se muestra la actividad antioxidante expresada como CI_{50} en $\mu\text{g/mL}$ de las muestras de las dos proveniencias de cada especie vegetal, en el cual se observa que la especie que presenta más actividad es *L. synanthera* en planta cocida de las dos muestras obtenidas, aunque con una actividad similar a la de *M. oleifera*. La segunda mejor actividad la presenta el caldo de *S. wendlandii*, con una actividad similar al caldo de *S. oleracea*, al igual que las muestras de las dos proveniencias de *A. hybridus*. Las demás hierbas y sus extractos acuosos tienen una actividad antioxidante moderada, siendo en planta seca de *C. longirostrata* la que presenta menor actividad antioxidante.

Cuadro 14. Actividad antioxidante por el método micrométrico de DPPH

Especie	Tipo de muestra	Lugar de colecta	CI ₅₀ (µg/mL)
Ah1	Planta seca	San Pedro Pinula, Jalapa	9.99 ± 4.08
	Caldo		2.98 ± 0.09
	Planta cocida		11.08 ± 0.99
Ah2	Planta seca	Canton de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	10.29 ± 0.16
	Caldo		3.58 ± 0.12
	Planta cocida		12.35 ± 1.14
Ca1	Planta seca	UVIGER, USAC, Campus Central zona 12	6.02 ± 0.52
	Caldo		4.99 ± 0.25
	Planta cocida		4.96 ± 0.22
Ca2	Planta seca	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	7.34 ± 0.41
	Caldo		4.58 ± 0.24
	Planta cocida		5.57 ± 0.33
C11	Planta seca	San Bernardino, Suchitepéquez	33.24 ± 1.15
	Caldo		16.45 ± 0.31
	Planta cocida		29.99 ± 1.48
C12	Planta seca	Cantón de los Albizures, Chiquimulilla, Santa Rosa	31.24 ± 0.88
	Caldo		14.58 ± 0.65
	Planta cocida		27.46 ± 1.37
Mo1	Planta seca	Finca El Porvenir, Nueva Concepción, Escuintla	3.59 ± 0.31
	Caldo		1.18 ± 0.09
	Planta cocida		2.22 ± 0.14
Mo2	Planta seca	Rancho El Simarrón, km 25 ½ carretera a Mataquesuintla, San José Pinula, Guatemala.	3.69 ± 0.29
	Caldo		1.98 ± 0.14
	Planta cocida		2.47 ± 0.19
Sw1	Planta seca	Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz	5.55 ± 0.29
	Caldo		5.64 ± 0.29
	Planta cocida		4.36 ± 0.16
Sw2	Planta seca	Ecoparcela El KaKawatal, Samayac, Suchitepéquez	6.98 ± 0.35
	Caldo		3.57 ± 0.25
	Planta cocida		4.45 ± 0.28
So1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	5.97 ± 0.22
	Caldo		3.58 ± 0.17
	Planta cocida		5.86 ± 0.32
Ls1	Planta seca	Ecoparcela El Kakawatal, Samayac, Suchitepéquez	3.34 ± 0.18
	Caldo		2.56 ± 0.20
	Planta cocida		2.99 ± 0.13
Ls2	Planta seca	Aldea Sanimtacá, Cobán, Alta Verapaz.	2.67 ± 0.11
	Caldo		2.11 ± 0.19
	Planta cocida		1.98 ± 0.09
Sn1	Planta seca	Cantón Santo Domingo, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.	9.76 ± 0.45
	Caldo		7.23 ± 0.55
	Planta cocida		8.47 ± 0.49
Sn2	Planta seca	Aldea Loma Alta, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.	12.32 ± 0.23
	Caldo		10.58 ± 0.43
	Planta cocida		11.65 ± 0.64
Se2	Planta seca	Frijanes, Guatemala	28.45 ± 1.33
	Caldo		22.69 ± 1.58
	Planta cocida		25.36 ± 1.22
Se1	Planta seca	San Jose Pinula, Guatemala	29.21 ± 0.99
	Caldo		26.65 ± 1.02
	Planta cocida		27.54 ± 0.97
Da1	Planta seca	Aldea Los Turuy, San Juan Sacatepéquez, Guatemala	31.29 ± 1.52
	Caldo		24.45 ± 1.03
	Planta cocida		18.54 ± 0.95
Quercetina	Estándares		0.063 ± 0.0004
Rutina		0.195 ± 0.0001	

Fuente: FODECYT 69-2012

Durante el quinto trimestre se cuantificaron fenoles totales por medio de un método micrométrico, a partir de las diluciones que presentaron el mejor CI₅₀ en el método de

DPPH; se analizaron los caldos, hoja seca y hoja cocida por siete repeticiones de tres réplicas cada una para hacer un total de 21 réplicas por especie, tipo de muestra y región (Fotografía 29).



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 29. Cuantificación de fenoles por método micrométrico

En el Cuadro 15 se muestran los resultados de la actividad antioxidante evaluada por el contenido de fenoles expresada como meq de ácido gálico, uniendo los resultados de ambas proveniencias. En el cual se observan que las especies que presentaron mayor cantidad de fenoles fueron en orden descendente *S. nigrescens*, *S. wendlandii*, *C. longirostrata*, *S. oleracea* y *L. synanthera*. En este cuadro se integran los resultados de la actividad antioxidante evaluada por ambos métodos (DPPH y fenoles totales), donde puede observarse que *L. synanthera* fue la única especie que dio resultados positivos por ambos métodos, mientras que *C. longirostrata* y dos especies del género *Solanum* (*S. nigrescens* y *S. wendlandii*) demostraron actividad antioxidante solo por la técnica de fenoles totales, al igual que *S. oleracea*. A pesar de la actividad interesante demostrada en estas hierbas, ninguna fue mejor que los estándares químicos usados (quercetina y rutina).

La revisión de literatura demuestra que las especies usadas como estándar (*M. oleifera* y *S. oleracea*) poseen actividad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH (Charoensin, 2014; Raghavendra, Reddy, Yadav, Raju & Kumar, 2013), al igual que la especie nativa *S. nigrescens* (Cáceres, Cruz, Gaitán, Guerrero, Álvarez, & Marroquín,

2012), mientras que las otras especies nativas que presentaron actividad (*C. longirostrata* y *S. wendlandii*) es la primera vez que se describe esta actividad en la literatura.

Cuadro 15. Actividad antioxidante (DPPH y fenoles totales) por un método micrométrico

Especie	Tipo de muestra	Actividad antioxidante expresada como CI_{50} $\mu\text{g/mL}$	mgEq de ácido gálico/g extracto
Ah	Planta seca	4.91 – 13.07*	5.37 – 6.72*
	Caldo	2.91 – 3.70	2.83 – 2.88
	Planta cocida	10.09 – 13.49	4.52 – 5.62
Ca	Planta seca	5.50 – 7.75	5.59 – 5.99
	Caldo	4.34 – 5.24	0.95 – 2.26
	Planta cocida	4.74 – 5.90	4.02 – 4.91
Cl	Planta seca	30.36 – 34.39	19.41 – 28.11
	Caldo	13.93 – 16.76	10.12 – 13.14
	Planta cocida	26.11 – 32.47	6.00 – 18.13
Da	Planta seca	31.29 \pm 1.52	6.42 – 6.51
	Caldo	24.45 \pm 1.03	1.90 – 3.96
	Planta cocida	18.54 \pm 0.95	4.30 – 5.08
Ls	Planta seca	2.56 – 3.52	13.96 – 24.77
	Caldo	1.92 – 2.76	3.92 – 20.26
	Planta cocida	1.90 – 3.12	6.08 – 11.71
Sa	Planta seca	31.19 – 42.87	17.00 – 17.10
	Caldo	12.02 – 15.98	10.39 – 10.51
	Planta cocida	5.76 – 6.57	5.22 – 5.28
Se	Planta seca	25.11 – 29.78	13.38 – 17.09
	Caldo	22.11 – 27.67	10.44 – 11.16
	Planta cocida	24.14 – 28.63	2.11 – 2.94
Sn	Planta seca	9.31 – 12.55	26.10 – 35.20
	Caldo	6.78 – 11.01	15.56 – 18.78
	Planta cocida	7.98 – 12.29	18.47 – 19.13
Sw	Planta seca	5.26 – 7.33	28.09 – 29.29
	Caldo	3.32 – 5.93	17.11 – 17.92
	Planta cocida	4.20 – 4.73	9.54 – 14.29
Mo	Planta seca	3.28 – 3.98	5.94 – 7.74
	Caldo	1.09 – 2.12	3.03 – 9.12
	Planta cocida	2.08 – 2.66	2.01 – 4.50
So	Planta seca	5.75 – 6.19	23.33 – 29.35
	Caldo	3.41 – 3.75	8.23 – 9.27
	Planta cocida	5.54 – 6.18	15.18 – 21.98
Quercetina	Estándares	0.063 \pm 0.0004	260.91 \pm 1.00
Rutina		0.195 \pm 0.0001	139.81 \pm 0.70

Fuente: FODECYT 69-2012

* rango de valores por evaluación en triplicado de dos proveniencias

3.3.4 Objetivo 4.

Comparar el análisis foliar y del suelo para demostrar los elementos que se están extrayendo del suelo y correlacionar su composición.

En el primer semestre se elaboró un POE para comparar el análisis foliar y del suelo, para demostrar los elementos que se están extrayendo del suelo y correlacionar su composición. En el segundo trimestre se estandarizó la metodología para evaluar la composición de oligoelementos en suelo y se corrieron las primeras diez muestras de suelo correspondientes los lugares de cultivo de ocho especies, en los últimos trimestres se completaron los análisis de las 21 muestras. Los análisis de suelos incluyeron los mismos oligoelementos evaluados en las hojas, además de pH, saturación de bases, materia orgánica, arcilla, limo y arena, así como se clasifica la clase textural (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de oligoelementos del suelo de los lugares de cultivo

Especie	Ca1	LS1	Lc1	C12	Mo1	Sw1	Ah1	Ah2	So1	Sn1
Localidad	Nueva Concepción	Samayac	San Bernardino	Chiquimulilla	Nueva Concepción	Samayac	San Pedro Pinula	Chiquimulilla	Santiago Sacatepéquez	Santiago Sacatepéquez
pH	7.4	5.9	5.7	6.2	7.2	5.8	7.5	5.5	6.4	6.6
P	71	0.45	0.65	2.63	67	3.72	87	2.63	34	131
Cu	1.5	0.15	0.15	1	1	0.5	0.5	3.5	2	1
Zn	2.5	1.5	1	6.5	3.5	7	9.5	3.5	3.5	14
Fe	14.5	3.5	4	5	14.5	4.5	17.5	19	12.5	20.5
Mn	23	11.5	9	50	27	13	49.5	71.5	17	14
CIC		15428	16278.6	10635			8358	9925.5	14180	12055
Ca	4867	2843.1	2336.1	3794.7	4501	3892	6423	2238.6	5448.3	4769.7
Mg	1622	624	370.5	834.6	1782	1030	577.2	546	2176.2	1396.2
Na		35.1	42.9	35.1			304.2	27.3	128.7	89.7
K	400	479.7	78	378.3	425	2.28	120.9	269.1	1341.6	768.3
SB		25.67	17.36	47.41			88.84	31.03	58.62	58.25
M.O.	1.7	7.82	13.01	3.43	2.25	6.8	3.83	2.71	3.03	3
Arcilla		9.32	7.22	37			22.89	45.4	20.58	18.48
Limo		34.99	28.64	32.84			32.84	30.74	24.44	20.24
Arena		55.69	64.14	30.16			44.27	23.86	54.98	61.28
Clase textural		Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arcilloso			Franco	Arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso

Fuente: FODECYT 69-2012

A continuación se indican algunos de los aspectos más importantes en relación a estos resultados.

3.4.1 Acidez del suelo (pH)

Esta característica química del suelo es de vital importancia para la disponibilidad de minerales del suelo. En términos prácticos la mayoría están disponibles en un rango de 6 a 7.5, sin embargo hay algunas particularidades. En la Figura 2 se muestran los rangos de disponibilidad de los principales elementos químicos del suelo, las partes más gruesas de cada una de las barras indica el pH donde el elemento tiene mayor disponibilidad.

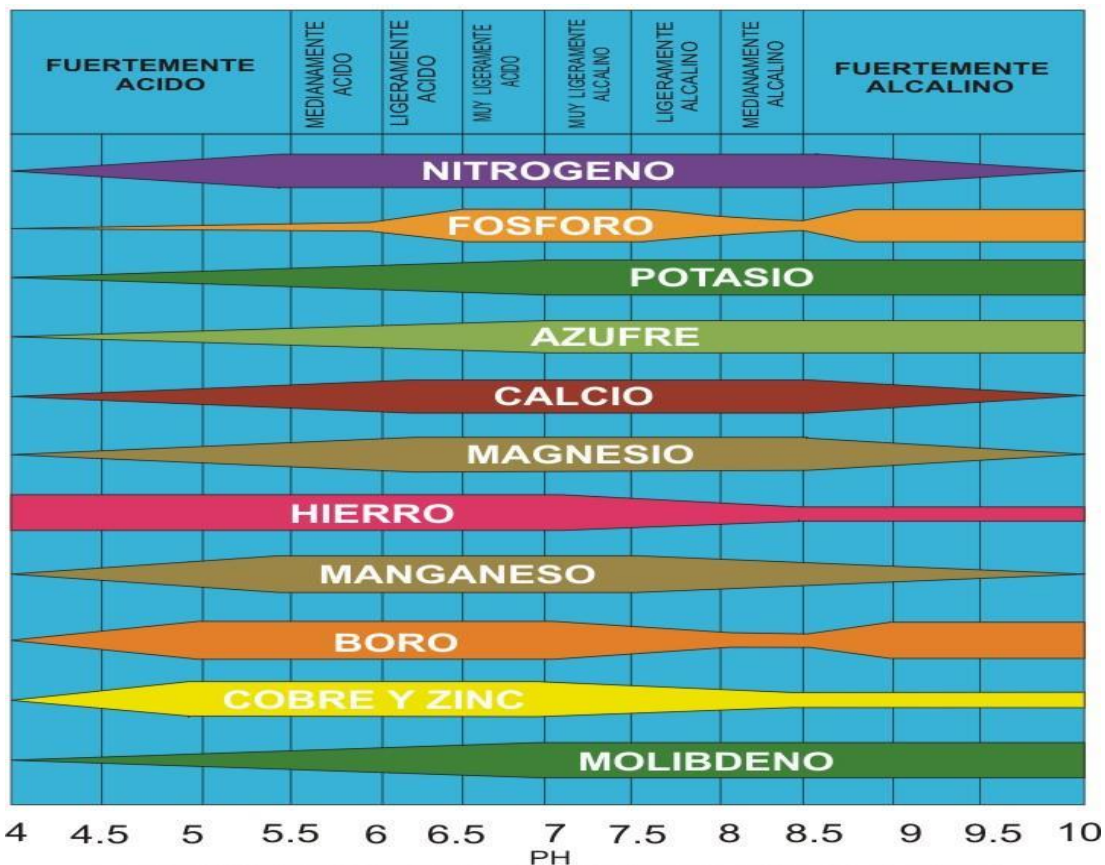


Figura 2. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de elementos químicos.

Los valores de pH encontrados se encuentran en un rango de 5.5 a 7.5, los valores más bajos son los que corresponden a los suelos de Chiquimulilla, Santa Rosa donde se colectó *A. hybridus* y el de San Bernardino, Suchitepéquez para *C. longirostrata*, en tanto que los valores más altos son de los suelos de San Pedro Pínula, Jalapa donde crece *A. hybridus* y el de Nueva Concepción, Escuintla donde se encontró a *C. aconitifolius*.

Las especies que se encontraron creciendo en pH menores a 6, se espera que tengan problemas en la fijación de P principalmente y medianamente con S y K. En tanto que los suelos con pH de 7.5 tienen problemas con la fijación de Cu y Zn.

3.4.2 Fósforo

De acuerdo con las recomendaciones del Laboratorio de Suelos, la cantidad mínima de P que debe haber en un suelo para un adecuado desarrollo vegetal es de 7 ppm, en el Cuadro 16, se muestra que el 50% de las localidades donde se recolectaron especies de hortalizas nativas tiene valores inferiores a 7, lo que indica que en ellos hay baja cantidad disponible en el suelo. El otro 50% de los suelos tiene P en cantidades altas y tomando en cuenta que el pH está en el rango de disponibilidad de este elemento, se puede indicar que son suelos sin problemas en cuanto a fertilidad en este elemento.

3.4.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Esta variable resume lo que se puede indicar para varios de los elementos químicos que se presentan en este análisis. El CIC está en función del pH y de la materia orgánica, como puede deducirse del valor de pH en general los valores se encuentran en su mayoría en el rango para que los elementos químicos puedan estar disponibles, sin embargo los valores de materia orgánica son en su mayoría muy bajos (< 5%), por lo que los valores de CIC se ven afectados, es decir que en las arcillas del suelo es menor el intercambio catiónico. Por lo tanto estos suelos necesitan tener mayores aplicaciones de materia orgánica.

3.4.4. Porcentaje de saturación de bases (%SB)

Esta variable es un indicador de la fertilidad natural del suelo y en aquellos con valores por abajo del 50% se puede indicar que necesitan enmiendas de abono para mejorar la fertilidad del suelo.

3.4.5 Clase textural del suelo

La mayoría de los terrenos donde se colectaron la hortalizas nativas son suelos franco y franco arenosos, lo que implica que son suelos que pueden reaccionar bien ante una fertilización, que no tienen problema de encharcamiento, por lo que pueden cultivarse adecuadamente en época lluviosa.

3.4.6 Discusión de resultados

Las plantas absorben del suelo los nutrientes necesarios para su desarrollo, la cantidad de cada elemento en su forma absorbible va a depender de las condiciones bajo las cuales se encuentre creciendo y de la edad de la planta. Los elementos se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, dependiendo de la cantidad que necesita la planta. Ambos tipos en cantidades por debajo de lo óptimo pueden causar deficiencias, pero también el exceso puede causar toxicidad. Los análisis de tejidos vegetales sirven de complemento a los análisis de suelo. Ambos son necesarios para lograr un buen diagnóstico.

En el Cuadro 17 se presenta los rangos en el porcentaje de macronutrientes y las partes por millón de micronutrientes que las plantas generalmente absorben. La cantidad de nutrientes en las plantas están en los rangos de acuerdo con lo recomendado por Sánchez

(2007). Para el Na, se tiene datos en este cuadro, sin embargo por ser un micronutriente las cantidades en las plantas deben de ser relativamente bajas.

Cuadro 17. Porcentaje de elementos esenciales en la planta y su forma de absorción

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	% en la planta
Carbono	C	CO ₂	40-50
Oxígeno	O	O ₂ y H ₂ O	42-44
Hidrógeno	H	H ₂ y H ₂ O	6-7
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	1-3
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ y HPO ₄ ²⁻	0.05-1
Potasio	K	K ⁺	0.3-3
Calcio	Ca	Ca ²⁺	0.5-3.5
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	0.03-0.8
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	0.1-0.5
Hierro	Fe	Fe ²⁺	100-1,000 ppm
Manganeso	Mn	Mn ²⁺	50-300 ppm
Cobre	Cu	Cu ²⁺	10-40 ppm
Zinc	Zn	Zn ²⁺	10-10 ppm
Boro	Bo	H ₂ Bo ₃ ⁻	50-300 ppm
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	10-40 ppm
Cloro	Cl	Cl ⁻	
Sodio	Na	Na ⁺	

Fuente: Sánchez, 2007

Algunas veces pueden utilizarse para definir la fertilización a aplicar cuando se carece de especificaciones para el cultivo, así la cantidad aplicar como abono/fertilizante = (cantidad a aplicar x eficiencia de absorción) - cantidad disponible en el suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de suelo, de las áreas donde se recolectaron las especies de este proyecto. Se puede notar que para la mayoría se necesitaría aplicaciones. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que muchas de las muestras colectadas no corresponden a un cultivo, de tal forma que la densidad de plantas por área es por lo general baja y por lo tanto, no se pueden aplicar criterios agronómicos. Pero si es importante que esta información se tome en cuenta cuando estas especies se sometan a cultivo.

3.5 Objetivo 5.

Difundir la información generada mediante la preparación de un informe técnico científico, un folleto con la información popular de cada especie, una reunión con grupos de base para informar de los resultados y propiciar la participación en eventos públicos para estimular el consumo de estas hierbas a diversos niveles.

3.5.1 Folleto con información popular

Se llevó a cabo una recopilación de literatura para elaborar el contenido de un folleto de difusión y orientar la recopilación de información para elaborar las monografías. Se realizó

una profunda revisión por la vía electrónica y se aprovechó el acceso al Centro de Información de Laboratorios Farmaya para conocer otros documentos de difusión y estructura de las monografías y recetas de uso de las especies vegetales (Fotografía 30). En el segundo trimestre se preparó un borrador de tres monografías, durante el cuarto trimestre se elaboraron las de seis especies adicionales, que se integran en el folleto *Hierbas Alimenticias Mesoamericana y su Preparación* (Anexo 1). En el quinto y sexto trimestres se amplió la revisión electrónica y agregaron varias recetas culinarias proporcionadas por colaboradores y chefs interesados en el tema.



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 30. Armando Cáceres integrando la información recopilada para elaborar la guía del contenido de folleto de difusión y las monografías

3.5.2 Actividades de difusión oral (conferencias, seminarios y otros)

A pesar de ser un proyecto pequeño, con escaso personal, con dedicación básicamente al laboratorio y salidas de campo, se recibieron múltiples solicitudes de participación en eventos de difusión a nivel nacional. En el Cuadro 18 se presentan las 21 actividades de difusión en las que se participó y un resumen de los resultados obtenidos, demostrándose una difusión de la información a más de 2,600 personas de todo tipo de perfil educativo. En general podemos concluir que por la cantidad de invitaciones existe bastante interés sobre el tema a nivel nacional, por lo que se considera que el proyecto logró alcanzar con creces las actividades de difusión. En la Fotografía 31 se muestran algunas de estas actividades.

Cuadro 18. Actividades de difusión en las que se participó por invitación durante 2013-14

Fecha	Evento o actividad	Resultados
30/07/2013	Conferencia “Aprovechamiento agroindustrial de la biodiversidad medicinal y alimenticia de Guatemala” en el evento “Biodiversidad y Seguridad Alimentaria con Pertinencia Cultural” organizado por CONAP-Occidente en el Teatro Municipal de Quetzaltenango.	La conferencia permitió comentar sobre las plantas alimenticias que se están investigando en el proyecto a un público de 150 participantes.
04/11/2013	Jornada Científico-Culinaria en el curso de Fitoquímica de la carrera de Química Farmacéutica de la USAC	Informe detallado en el siguiente inciso de este informe
01/12/2013	Conferencia “Aprovechamiento de la biodiversidad medicinal y alimenticia de Guatemala” organizada por el Colegio de Farmacéuticos y Químicos de Guatemala – Sede Sur-Quetzaltenango en el IRTRA de Retalhuleu	Se expuso la flora útil del país y se esbozó la importancia de las plantas del proyecto a 30 profesionales del Sur-Occidente
06/12/2013	Conferencia “Aprovechamiento de la biodiversidad nativa en la alimentación del guatemalteco” en el Festival Gastronómico del Café, organizado por ARNPG y Eco-Chef, ANACAFÉ, Guatemala	Se presentaron resultados preliminares de las colectas de las plantas del proyecto a unos 30 chefs y conservacionistas.
06/02/2014	Presentación al Comité de Investigación del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social sobre “Validación para el aprovechamiento de la biodiversidad de Guatemala”, en el Depto. de Atención a las Personas.	Participaron 30 profesionales jefes de departamento con el objetivo de conocer las especies vegetales aplicables en medicina y alimentación.
22/04/2014	Conferencia “Biodiversidad medicinal y alimenticia de Guatemala” en el evento Diversidad Biológica y Seguridad Alimentaria con Pertinencia Cultural organizado por el CONAP-Altiplano Occidental en el Teatro Municipal de Totonicapán	Se presentaron datos de la literatura y resultados preliminares de la composición de oligoelementos de las hierbas comestibles de Guatemala a 150 participantes.
25/04/2014	Conferencia “Galactogogos naturales usados en Guatemala” en el Seminario de la Red Guatemalteca de Bancos de Leche Humana organizado por la Asociación de Bancos de Leche en la Cooperación Española de la Antigua Guatemala	Se hizo una revisión sobre los factores que influyen en la lactancia materna y se informó sobre el uso con este fin de <i>C. aconitifolius</i> ante un público de 100 personas.
03/05/2014	Conferencia “Botiquín de las principales plantas medicinales de Guatemala” en la VII Jornada Científica de Enfermería de la Universidad Rafael Landívar en Quetzaltenango	Se presentaron las propiedades medicinales de algunas especies del proyecto a un público mayor de 250 estudiantes
13/05/2014	Conferencia “Validación de la flora medicinal de Guatemala” en el Simposio de Investigación de la carrera de Medicina de la Universidad Rafael Landívar en el campus de la universidad	Se presentó la composición de oligoelementos y factores anti-nutricionales de las plantas del proyecto a 200 estudiantes
22/05/2014	Charlas sobre “Diversificación Productiva y Acceso a Mercados: Amarantho” en el Agro Encuentro Rural Quetzaltenango 2014 organizado por AGEXPORT/AGRITRADE	Se presentaron datos generales y específicos del uso, composición y cultivo de <i>Amaranthus</i> ante 150 agricultores
29/05/2014	Conferencia “Galactogogos naturales usados en Guatemala” en el evento Diversidad Biológica y Seguridad Alimentaria con pertinencia Cultural organizado por CONAP en el Hotel Gran Karmel	Se presentaron algunos alimentos para mejorar la lactancia materna incluido <i>C. aconitifolius</i> a unos 300 participantes del Occidente
12/06/2014	Conferencia “Validación de la biodiversidad medicinal de Guatemala” en el Simposio de Productos Naturales del X Congreso Internacional de Investigación Científica en Santo Domingo, RD	Se presentaron las propiedades medicinales de algunas de las hierbas del proyecto ante unos 150 profesionales dominicanos.

19/06/2014	Conferencia “Las plantas medicinales con enfoque productivo” en el VI Encuentro de Conservación en Tierras Voluntarias de la ARNPG/ANACAFE	Se presentaron datos del proyecto a unos 40 finqueros y ambientalistas del país.
15/07/2014	Comentarista del libro “Hierba mora, Chipilín, Jícama y Amaranto” en la Feria Internacional del Libro en el Parque de la Industria invitado por Ed. Universitaria	Se comentó con datos del proyecto el lanzamiento del libro ante unos 30 participantes
08/08/2014	Presentación “ <i>Moringa oleifera</i> ” en el evento organizado en la Universidad Galileo	Se hizo una revisión de <i>M. oleifera</i> como alimento y medicamento para 60 participantes
15/08/2014	Conferencia “Plantas medicinales y alimenticias nativas de la biodiversidad guatemalteca” en la X Feria Nacional de la Diversidad Biológica y la Seguridad Alimentaria con Pertinencia Cultural en Sanarate	Se presentaron datos del proyecto a unos 200 participantes del oriente del país.
04/09/2014	Panelista con “Los productos naturales como fuente de riqueza nacional” en el II Curso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación organizado por el CONCYT en el Hotel Tikal Futura, Guatemala	Se presentaron resultados del proyecto ante unos 150 participantes y estudiantes
04/10/2014	Conferencia “Plantas medicinales y hierbas alimenticias nativas” en el Festival Gastronómico de la Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala y la Asociación EcoChefs de Guatemala	Se presentaron resultados del proyecto a unos 40 empresarios de reservas privadas y se participó en la degustación en el festival culinario donde se utilizaron las hierbas del proyecto
15/10/2014	Conferencia “Contenido nutricional de hierbas alimenticias nativas” en el III Congreso de Alimentación y Nutrición organizado por FUNCAFE	Se presentaron resultados del proyecto a unos 150 asistentes y se participó en la exposición de materiales, resultados del proyecto y degustación de platillos
20/11/2014	Conferencia “Valor nutricional de hierbas alimenticias nativas” en el AgroEncuentro Rural Chimaltenango 2014 organizado por AGRITRADE/AGEXPORT	Se presentaron resultados del proyecto a unos 80 asistentes y se interaccionó para futuras actividades.
05/12/2014	Conferencia “Importantes descubrimientos en las hierbas alimenticias mesoamericanas” en la Exposición los Sabores de Mesoamérica 2014, organizado por la Fundación La Ruta Maya/AECID en Antigua Guatemala	Se presentaron resultados del proyecto a 60 asistentes y se participó en la elaboración y degustación de platillos con las hierbas del proyecto.



Fotografía 31. Actividades de difusión oral: **(A)** Presentación de plantas medicinales y alimenticias al Comité de Investigación del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (06/02/2014). **(B)** Comentario de libro sobre alimentos de Guatemala en la Feria Internacional del Libro (15/07/2014). **(C)** Aspecto de la degustación de alimentos preparados con hierbas del proyecto en Congreso organizado por FUNCAFE (04/10/2014). **(D)** Reconocimiento por conferencia en actividad de la Fundación La Ruta Maya en AECID Antigua, Guatemala (05/12/2014). **(E)** Conferencia en AgroEncuentro Chimaltenango 2014 organizado por AGEXPORT (20/11/2014).

3.5.3 Jornada científico-culinaria de difusión entre estudiantes

Se llevó a cabo una jornada científico-culinaria el día 4 de noviembre, con los alumnos del curso de Fitoquímica, de la carrera de Química Farmacéutica de la Facultad de CCQQ y Farmacia de la USAC (Fotografía 32-34). Los estudiantes recopilaron recetas de cocina con cada una de las hierbas en estudio que estuvieron en degustación y dieron a conocer los resultados obtenidos en sus trabajos de integración sobre el tamizaje fitoquímico de siete hierbas.

Se realizó el tamizaje fitoquímico de siete hierbas nativas del estudio, determinando así que contienen alcaloides, taninos, flavonoides, antraquinonas, cumarinas.



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 32. Armando Cáceres inaugurando el evento científico-culinario de hierbas nativas



Fuente:FODECYT 69-2012

Fotografía 33. Alumnos del curso de Fitoquímica exponiendo el platillo elaborado con **A y B)** Chaya (*C. aconitifolius*); **C y D)** Quixtán (*S. wendlandii*); **E y F)** Chomté (*L. synanthera*)

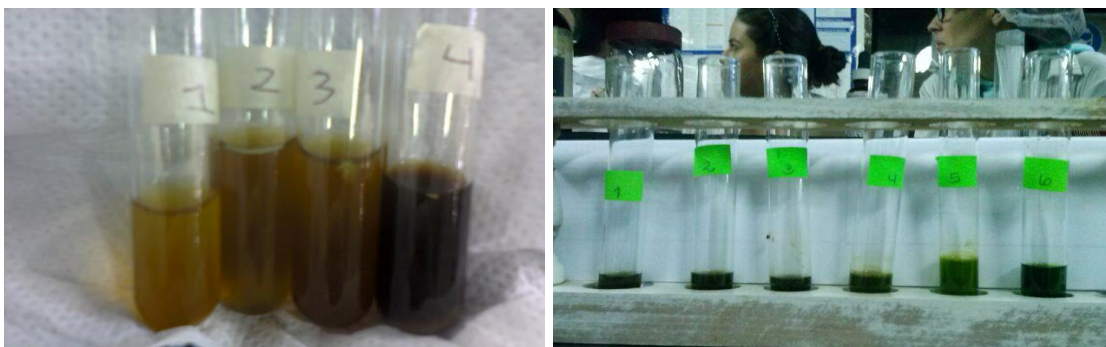


Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 34. Alumnos del curso de Fitoquímica exponiendo el platillo elaborado con **A y B)** Macuy (*S. nigrescens*); **C y D)** Bledo (*A. hybridus*); **E y F)** Moringa (*M. oleifera*)

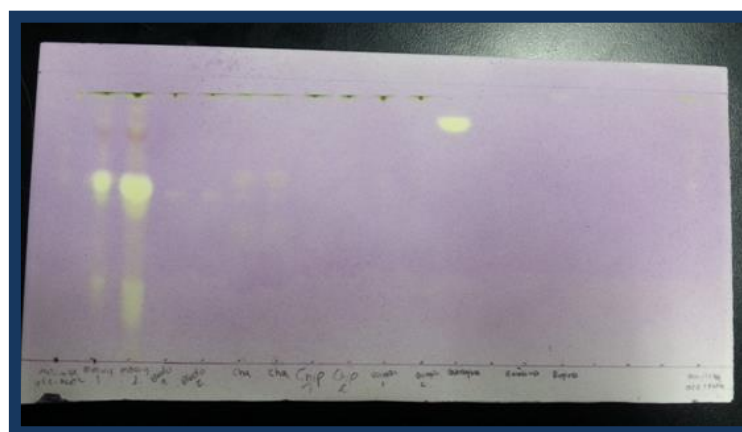
Los alumnos realizaron el tamizaje fitoquímico por CCF de siete especies seleccionadas de las que también presentaron platillos culinarios. Se determinó que *A. hybridus* contiene alcaloides, taninos y flavonoides, aunque no presentó actividad antioxidante por la técnica de DPPH, lo que pudo deberse a la poca cantidad de flavonoides que presenta; *L. synanthera* presentó taninos, flavonoides, cumarinas y actividad antioxidante; *C. longirostrata* presentó alcaloides, taninos, flavonoides, cumarinas y actividad antioxidante; *S. wendlandii* presentó taninos y cumarinas; *M. oleifera* dio positivo para alcaloides, taninos, flavonoides, cumarinas y actividad antioxidante; *C. chayamansa* contiene taninos, flavonoides y actividad anti-oxidante; y *S. nigrescens* presentó alcaloides taninos y actividad antioxidante (Cuadro 19).

De los datos obtenidos en el tamizaje fitoquímico macrométrico, no coincide con el micrométrico, el valor de *C. aconitifolius* ya que esta fue una de las plantas que más actividad antioxidante presentó, lo contrario a la prueba en CCF, en donde se registró que fue muy leve el resultado de antioxidación.



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 35. Método macrométrico en la determinación de **A)** taninos y **B)** flavonoides



Fuente: FODECYT 69-2012

Fotografía 36. Cromatoplatea para evaluar la actividad antioxidante por DPPH.

Cuadro 19. Tamizaje fitoquímico macrométrico y actividad antioxidante de siete hierbas

Especie	AM	AD	AW	AB	ABM	TG	TGS	TCL	FAS	FCF	FAC	FAA	KOH	DPPH
<i>A. hispidus</i> (Bledo)	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>L. synanthera</i> (Chomté)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. lingirostrata</i> (Chipilín)	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>S. wendlandii</i> (Quixtán)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
<i>M. oleifera</i> (Moringa)	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>C. aconitifolius</i> (Chaya)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+
<i>S. nigrescens</i> (Macuy)	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+

Fuente: FODECYT 69-2012

Realizado por los alumnos de cuarto año de la carrera de Química Farmacéutica de la USAC

Alcaloides: AM (Meyer), AD (Dragendorff), AW (Wagner), Antraquinonas: AB (Börntreger), ABM (Börntreger Modificado), Taninos: TG (Gelatina 1%), TGS (Gelatina-sal), TCL (cloruro férrico), Flavonoides: FAS (ácido sulfúrico), FCF (cloruro férrico 10%), FAC (ácido clorhídrico), FAA (aluminio ácido (Cumarinas: KOH, Antioxidante: DPPH)

(+)= Indica positivo para la presencia del metabolito secundario en estudio o actividad antioxidante según sea el caso. (-)= Indica negativa la presencia del metabolito secundario en estudio o actividad antioxidante según sea el caso

El bledo es una de las especies herbáceas que crecen de manera silvestre en diversos lugares del país, principalmente en Baja Verapaz. Debido a su alto valor nutritivo, su consumo es promovido por diversas organizaciones. Según el Cuadro 19, no se observó presencia de quinina ya que el Rx obtenido de ambas bandas amarillas, correspondientes a alcaloides, no es cercano a uno, por lo que la presencia de este alcaloide no es observable pero sí pudo haber presencia de otro alcaloide debido a la fluorescencia amarilla característica de éstos. Respecto a antraquinonas (Cuadro 16), se obtuvo un Rf muy cercano a 1 correspondiente a la Banda 5 de la muestra, pero ésta no coincide en color con la banda del estándar (amarillo) correspondiente a antraquinonas, por lo que no se encontró presencia de antraquinonas en la muestra.

Se le evaluó la presencia de principios amargos, que le otorgan el característico sabor amargo. Para la determinación se utilizó la técnica de CCF, visualizándose las bandas rojas que se presentaban en el extracto. Con respecto a las bandas de *C. chayamansa* se obtuvo un Rf de 0.92 experimentalmente contra el valor de Rf del estándar de rutina de 0.91. El color de las bandas obtenidas en la cromatoplaque fue de color rojo fuerte.

En el análisis fitoquímico de *S. wendlandii*, se realizó un ensayo de CCF para la detección de un estándar de rutina, el cual es un glicósido flavonoide que se encuentra en algunas plantas. Para su detección se empleó un estándar de rutina al 0.05% en metanol, en la muestra se observó en la primera banda un Rf de 0.93 y una coloración verde, en la banda dos se observó un Rf de 0.41 y coloración verde y una tercera banda con un Rf de 0.97 y una coloración roja. Los valores de Rf observados se encuentran un valor lejano al Rf teórico (0.36). Las coloraciones de las bandas si presentaron los colores característicos de detección de flavonoides (verde).

De igual manera, se analizó la presencia de alcaloides por CCF, utilizando atropina como estándar. En el Cuadro 19 se detallan el número de bandas observadas y su respectiva fluorescencia. Durante este análisis se observaron bandas de color amarillo y otras de color anaranjado, a una longitud de onda de 365 nm. La fluorescencia amarilla y/o anaranjada indica la presencia de los alcaloides solanina y solasodina, la cuales le confiere la actividad antiinflamatoria a la especie. Las cuatro bandas observadas presentaron valores de Rf de 0.2, 0.3, 0.6 y 0.8; encontrándose ésta última banda muy cercana a la del estándar, lo que comprueba que presentan una composición química similar. Es importante mencionar que los valores de Rf más cercanos a 1 indican que el compuesto es afín a la fase móvil. Por el contrario, sí es poco soluble, su Rf será pequeño. Durante este análisis se observaron bandas de color rojo-naranja a una longitud de onda de 365 nm. La fluorescencia rojo-naranja indica la presencia de senósidos. La banda con un Rf de 0.6 identifica la presencia del senósido C y la banda con un Rf de 0.9 indica la presencia de la reina, una banda de color rojo-naranja intenso. Para observar la coloración de las bandas sin necesidad de luz UV, se le aplicó a la cromatoplaque una solución etanólica de KOH al 5-10%, lo que permitió observar la coloración de las bandas en la región visible.

La determinación de principios amargos se realizó utilizando el mismo extracto obtenido para el análisis de taninos, el cual se sembró directamente sobre la cromatoplaque de sílica gel, utilizando como estándar artemisinina en metanol. La cromatografía corrió utilizando como fase móvil cloroformo:metanol (95:5) y posteriormente se asperjó con anisaldehído-ácido sulfúrico. Se observó luego de 5 min de secado bajo luz UV, determinándose los principios amargos coloraciones rojas y verdes.

3.5.4 Actividades de difusión escrita o filmada

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron tres actividades de difusión escrita. La primera fue una entrevista con una periodista de Nuestro Diario, quien con la información preliminar aportada redactó un reportaje que se publicó en Nuestro Diario en dos páginas el día domingo 30 de marzo de 2014 (Anexo 2). Se han pactado nuevas publicación en el que se darán a conocer los resultados del proyecto.

La segunda actividad fue solicitada por la cineasta Ana Carlos con quien se está preparando un documental sobre dos plantas alimenticias del proyecto (*C. aconitifolius* y *S. wendlandii*) en la serie El Sabor de Mi Tierra; se ha elaborado el plan del documental y se hizo una primera visita a una finca en Nueva Concepción y otra en Samayac para establecer los escenarios para la filmación de la preparación de platillos tradicionales con ambas especies en los dos lugares escogidos. Sin embargo, por el momento no se ha concretado la filmación por problemas financieros de la filmadora.

La tercera actividad fue la entrevista con una periodista de El Diario de Centro América, quien hará una publicación de las plantas alimenticias de Mesoamérica; se le dio información del proyecto y sus resultados, esperando que se publique una nota periodística en el mes de octubre de 2014.

Con los datos analizados se pretende preparar un manuscrito para someterlo a publicación en una revista nacional.

PARTE IV

IV.1 CONCLUSIONES

1. Se colectaron 17 muestras de hojas de nueve especies nativas de hierbas comestibles (*A. hybridus*, *C. aconitifolius*, *C. longirostrata*, *D. ambrosioides*, *L. synanthera*, *S. edule*, *S. americanum*, *S. nigrescens* y *S. wendlandii*) y cuatro muestras de dos especies comestibles de uso internacional (*Moringa oleifera* y *Spinacea oleracea*), depositándose muestras botánicas de todas las especies en el Herbario CFEH. De todas las especies fue relativamente fácil obtener las dos muestras para el estudio, pero de *D. ambrosioides* fue muy difícil conseguir las muestras porque aparentemente hay una enfermedad en el país que afecta severamente esta especie. Se colectaron muestras de suelo para análisis químico y comparación con los contenidos de las especies vegetales.
2. Se colectó información etnobotánica nutricional sobre las especies en estudio, demostrándose que existe amplio uso tradicional en diversas preparaciones, aunque se observa que las nuevas generaciones conocen poco sobre el uso de estas hierbas.
3. Se secaron las hierbas a través de diversas formas según el volumen y disponibilidad de secadores, observándose que los porcentajes de humedad en material fresco varió de 74.42% para *C. aconitifolius* hasta 90.61% para *S. oleracea*. La materia vegetal seca tuvo una humedad de 3.77 a 12.25%. Se prepararon extractos acuosos de la planta seca, cocida y del caldo, demostrándose que la especie con mayor rendimiento de extracto seco fue *M. oleifera* ($1.06 \pm 0.02\%$) y la de menor rendimiento fue *S. edule* ($0.34 \pm 0.09\%$).
4. El tamizaje fitoquímico por CCF de las hierbas demostró que todas contienen aceite esencial, cumarinas y alcaloides, y que todas, menos *S. wendlandii* contienen flavonoides, sobresaliendo *C. longirostrata* y *L. synanthera* que tienen hasta seis bandas de estos metabolitos secundarios, lo que podría contribuir a otras propiedades biológicas funcionales; las especies control únicamente demostraron tres bandas de flavonoides.
5. El análisis de la composición de Zn por espectrofotometría de absorción atómica demostró que las hierbas control tienen una buena composición de este elemento, *S. oleracea* (90-140 ppm) y *M. oleifera* (20-25 ppm). De las nativas *D. ambrosioides* demostró la mayor cantidad (130-160 ppm), seguida de *A. hybridus* (70-80 ppm), todas las demás demostraron contenidos mayores (25-40 ppm) que los de *M. oleifera*.
6. El análisis de la composición de Fe por espectrofotometría de absorción atómica demostró que las hierbas control tienen una buena composición de este elemento (*S. oleracea*, 220-280 ppm y *M. oleifera*, 105-135 ppm). De las nativas *A. hybridus* (90-240 ppm), *C. aconitifolius* (75-185 ppm) y *L. synanthera* (75-140 ppm) tuvieron las mayores concentraciones, siendo estas menores que *S. oleracea*, pero mayores que *M. oleifera*.
7. Por la técnica para evaluar la biodisponibilidad de Fe se concluye que *A. hybridus* (0.89-1.11 mg/g), *D. ambrosioides* (0.83-1.17 mg/g) y *S. nigrescens* (0.66-0.71 mg/g) presentan más Fe disponible que la hierba control (*S. oleracea*, 0.53-0.58 mg/g).



8. Se montaron los métodos para evaluar la presencia de factores antinutricionales, el contenido de taninos por una técnica espectrofotométrica con lectura a 525 nm, usando ácido tánico como control y el contenido de oxalatos por permanganimetría. De los dos factores estudiados, se encontraron niveles elevados de taninos, siendo los valores más altos los de *S. oleracea* (722 ± 6 mg/100 g), *L. synanthera* (678 ± 8 mg/100 g), *S. nigrescens* (455 ± 7 mg/100 g), *A. hybridus* (362 ± 9 mg/100 g) y *S. wendlandii* (208 ± 9 mg/100 g). El contenido en *M. oleifera* fue bajo (126 ± 10 mg/100 g), en las demás hierbas se encontraron niveles menores de 90 mg/100 g. Los niveles de oxalatos fueron relativamente bajos (0.1-0.7 mg/100 g) para todas las especies, controles y nativas.
9. Se montó la metodología para evaluar la biodisponibilidad de Fe por digestión y espectrofotometría y se puso a punto para análisis. Las hierbas control demostraron el mejor contenido en la planta seca remojada (1.13-2.12 mg de Fe biodisponible/g de materia vegetal seca). En el material digerido el mayor contenido lo tienen *D. ambrosioides* (1.42-4.01 mg de Fe biodisponible/g) y *S. oleracea* (0.91-1.20 mg de Fe biodisponible/g). La mayor concentración de Fe en el material dializado o biodisponible, se encontró en *A. hybridus*, *D. ambrosioides* y *S. nigrescens* (0.89-1.11, 0.83-1.17, 0.66-0.71 mg de Fe biodisponible/g), demostrándose que tienen mayores contenidos de Fe que la mejor hierba control, que fue *M. oleifera* (0.53-0.58 mg de Fe biodisponible/g).
10. Por microcolorimetría se evaluó la actividad antioxidante por dos métodos, el de DPH y el de fenoles totales. Respecto a las hierbas de control, la actividad antioxidante por el método de DPPH fue de $CI_{50} 3.5 \pm 0.3$ μ g/ml para *M. oleifera* y de $CI_{50} 5.5 \pm 6.2$ $\pm \mu$ g/ml para *S. oleracea*. Entre las hierbas nativas, *L. synanthera* ($CI_{50} 2.5 \pm 1.0$ μ g/ml) tuvo mejor actividad que los controles, mientras que *S. wendlandii* ($CI_{50} 6.9 \pm 0.3$ μ g/ml), *C. aconitifolius* ($CI_{50} 6.0 \pm 1.0$ μ g/ml) y *S. nigrescens* ($CI_{50} 0.3 \pm 3.0$ μ g/ml), tuvieron valores intermedios en relación a las hierbas control. En el caso de fenoles totales, solamente el control de *S. oleracea* demostró actividad (23.33-29.35 mgEq de ácido gálico/en extracto de 50 mg/ml), concentración que fue inferior a la encontrada en *S. wendlandii* (28.09-29.29 mEq de ácido gálico/en extracto de 50 mg/ml) y *S. nigrescens* (26.10-35.20 mEq de ácido gálico/en extracto de 50 mg/ml).
11. En términos generales el contenido de los oligoelementos en los suelos fue relativamente normal y en ocasiones bajo, sugiriéndose que será necesaria alguna aplicación de oligoelementos cuando se quiera establecer como un cultivo masivo.
12. A pesar de ser un proyecto pequeño, con escaso personal, con dedicación básicamente al laboratorio y a trabajo de campo, se recibieron 19 solicitudes para participar en eventos de difusión a nivel nacional, inicialmente informando sobre el proyecto y posteriormente sobre sus resultados. Estas actividades permitieron socializar información del proyecto con unas 2,500 personas de todo tipo de perfil educativo, tanto a nivel de la capital, como en varias ciudades del interior.
13. Con los estudiantes de cuarto año de la carrera de Química Farmacéutica, se realizó una Jornada Científico-Culinaria en la que los estudiantes presentaron información sobre las especies, realizaron determinaciones fitoquímicas y de bioactividad de los extractos y se prepararon platillos para degustación por sus compañeros.

IV.2 RECOMENDACIONES

1. Ampliar la investigación etnobotánica sobre hierbas alimenticias nativas no estudiadas y caracterizar su composición fitoquímica, nutricional y funcional para contar con un repertorio de opciones para contribuir a la lucha contra la desnutrición y el hambre, proponiendo el cultivo de especies de alto valor nutritivo basadas en el uso tradicional.
2. Estimular a los sectores responsables de la producción agrícola en el país para que desarrollen estudios de caracterización agronómica, que permita crear paquetes tecnológicos para su producción sustentable y que puedan introducirse estos cultivos como opciones para la diversificación agrícola con beneficio nutricional para la población, tanto en huertos familiares como para producción comercial.
3. Estudiar a mayor profundidad desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo la composición fitoquímica de las hierbas alimenticias y ampliar el número de familias químicas evaluadas para completar el perfil fitoquímico de estas especies y cuantificar su contenido de acuerdo a las porciones normalmente consumidas como alimentos.
4. Cuantificar la composición de oligoelementos en hierbas provenientes de otras zonas agroecológicas diferentes a las estudiadas en esta oportunidad, para conocer si alguna tiene ventajas importantes en su composición sobre las otras.
5. Perfeccionar la técnica de determinación de la biodisponibilidad de Fe para poder aplicarla en la evaluación de diferentes materiales vegetales con fines nutricionales.
6. Sugerir la decocción de aquellas hierbas que demostraron niveles altos de factores antinutricionales, particularmente oxalatos, para evitar la quelación de los metabolitos de interés y disminuir el consumo de oxalatos que tienen efectos secundarios como la formación de cálculos renales.
7. Ampliar la información química y biológica para aprovechar la actividad anti-oxidante demostrada por varias de las hierbas para desarrollar productos o preparaciones alimenticias que las contengan, con el consiguiente beneficio nutricional y funcional.
8. Propiciar el cultivo doméstico y comercial de las hierbas con valor nutricional y funcional para aumentar su disponibilidad y contribuir a su uso masivo.
9. Estimular a los chefs, sectores culinarios y amas de casa del país para que desarrollen recetas novedosas e innovadoras con estas hierbas, para incrementar el consumo de estas hierbas y devolverles el status que alguna vez tuvieron como alimentos tradicionales.
9. Comprobar el contenido de los oligoelementos en los suelos en los que se desee establecer cultivos de estas hierbas, para garantizar que son una fuente importante de estos elementos en la dieta, de contarse con suelo pobres, se recomienda la aplicación de los elementos deficientes para garantizar alimentos de calidad.
10. Mantener la socialización y difusión de los resultados para que amplios sectores de la población los aprovechen para contribuir en la lucha contra el hambre y la desnutrición.

PARTE V.

V1. Informe financiero

FICHA DE EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA								AD-R-0013
		LINEA: FODECYT						
Nombre del Proyecto:		"Determinación y evaluación del contenido y disponibilidad de oligoelementos en hojas de vegetales nativos de uso tradicional en la alimentación del guatemalteco y de la presencia de agentes antioxidantes y anti-nutricionales"						
Numero del Proyecto:		069-2012						
Investigador Principal y/o Responsable del Proyecto:		LIC. ARMANDO CÁCERES ESTRADA						
Monto Autorizado:		Q320,750.00		Orden de Inicio (y/o Fecha primer pago):				
Plazo en meses:		18 meses						
Fecha de Inicio y Finalización:		01/02/2013 al 31/07/2014						
Grupo	Renglon	Nombre del Gasto	Asignación Presupuestaria	TRANSFERENCIA		Ejecutado	Pendiente de Ejecutar	
				Menos (-)	Mas (+)			
1		SERVICIOS NO PERSONALES						
	122	Impresión, encuadernación y reproducción	Q 5,000.00				Q 5,000.00	
	133	Viáticos en el interior	Q 7,000.00			Q 3,738.00	Q 3,262.00	
	181	Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad	Q 148,450.00			Q 141,575.00	Q 6,875.00	
	185	Servicios de capacitación	Q 9,000.00	Q 106.25			Q 8,893.75	
	189	Otros estudios y/o servicios	Q 2,000.00				Q 2,000.00	
	189	Otros estudios y/o servicios: evaluación extena de impacto						
2		MATERIALES Y SUMINISTROS						
	214	Productos agroforestales, madera, corcho y sus manufacturas	Q 2,000.00			Q 420.00	Q 1,580.00	
	241	Papel de escritorio	Q 500.00			Q 688.80	Q -188.80	
	242	Papeles comerciales, cartones y otros	Q 1,000.00			Q 902.49	Q 1,000.00	
	243	Productos de papel o cartón		Q 218.95		Q 428.75	Q -209.80	
	244	Productos de artes gráficas	Q 300.00			Q 94.50	Q 205.50	
	261	Elementos y compuestos químicos	Q 70,000.00			Q 32,288.34	Q 37,711.66	
	262	Combustibles y lubricantes	Q 5,000.00			Q 2,560.00	Q 2,440.00	
	267	Tintes, pinturas y colorantes	Q 1,000.00			Q 575.00	Q 425.00	
	268	Productos plásticos, nylon, vinil y pvc	Q 5,000.00			Q 902.49	Q 4,097.51	
	269	Otros productos químicos y conexos	Q 5,000.00			Q 3,422.00	Q 1,578.00	
	272	Productos de vidrio	Q 12,000.00			Q 7,881.95	Q 4,118.05	
	283	Productos de metal	Q 5,000.00	Q 262.95			Q 4,737.05	
	286	Herramientas menores			Q 44.00	Q 75.00	Q -31.00	
	291	Útiles de oficinas	Q 500.00			Q 434.90	Q 65.10	
	292	Útiles de limpieza y productos sanitarios	Q 1,000.00			Q 212.10	Q 787.90	
	295	Útiles menores medico quirurgicos y de laboratorio	Q 10,000.00			Q 9,609.75	Q 390.25	
	296	Útiles de cocina y comedor			Q 49.90	Q 49.90	Q -	
	297	Útiles, accesorios y materiales eléctricos	Q 1,000.00			Q 32.75	Q 967.25	
	299	Otros materiales y suministros			Q 56.35	Q 56.35	Q -	
3		PROPIEDAD, PLANTA, EQUIPO E INTANGIBLES						
	323	Equipo médico-sanitario y de laboratorio	Q 30,000.00	Q 6,499.00			Q 23,501.00	
	329	Otras maquinarias y equipos			Q 6,499.00	Q 6,499.00	Q -	
		GASTOS DE ADMÓN. (10%)						
			Q 320,750.00	Q 6,868.20	Q 6,868.20	Q 211,544.58	Q 109,205.42	
		MONTO AUTORIZADO	Q 320,750.00			Disponibilidad	Q 109,205.42	
	(-)	EJECUTADO	Q 211,544.58					
		SUBTOTAL	Q 109,205.42					
	(-)	CAJA CHICA						
		TOTAL POR EJECUTAR	Q 109,205.42					

V.2 Cronograma

Actividad	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18
Revisión de literatura/Planificación						
Colección de materia vegetal						
Procesamiento y extracción						
Determinación de oligoelementos						
Análisis de suelo y foliar						
Ensayo de biodisponibilidad de Fe						
Cuantificación de taninos y oxalatos						
Actividad antioxidante						
Documentos informativos						
Análisis e interpretación						
Eventos de difusión				◆ ◆	◆ ◆ ◆	◆ ◆ ◆
Informes trimestrales	◆	◆	◆	◆	◆	◆

Trimestres = 1-3 (febrero-abril 2013), **4-6** (mayo-julio 2013), **7-9** (agosto-octubre 2013),
10-12 (noviembre 2013-enero 2014), **13-15** (febrero-abril 2014), **16-18** (mayo-julio, 2014)

PARTE VI

VI.1 Referencias

- Aaseth, J.**, Boivin, G., & Andersen, O. (2012). Osteoporosis and trace elements – An overview. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 26, 149-152.
- Ahuja, A.**, Dev, K., Tanwar, R. S., Selwal, K. K., & Tyagi, P. K. (2014). Copper mediated neurological disorders: Visions into amyotrophic lateral sclerosis, Alzheimer and Menkes disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 29, 11-23,
- Ali, M.** & Tsou, S. C. S. (1997). Combating micronutrient deficiencies through vegetables - a neglected food frontier in Asia. *Food Policy*, 22, 17-38.
- Amaglo, N. K.**, Bennett, R. N., Lo Curto, R. B., Rosa, E. A. S., Lo Turco, V., ..., Timpo, G. M. (2010). Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. *Food Chemistry*, 122, 1047-1054.
- AOAC** (2006). AOAC Official Methods of Analysis. Chapter 2. Plants, subchapter 2. Metals in plants. AOAC International, 18th Edition.
- Aquino, R.**, Cáceres, A., Morelli, S., & Rastrelli, L. (2002). An extract of *Tagetes lucida* and its phenolic constituents as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 65, 1773-1776.
- Arredondo, M.**, Weisstaub, G., Medina, M., Suazo, M., Guzmán, M., & Araya, M. (2014). Assessing chaperone for Zn, Cu-superoxide dismutase as an indicator of copper deficiency in malnourished children. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28, 23-27.
- Azurdia, C.** (2008). Agrobiodiversidad de Guatemala. En: CONAP – *Guatemala y su Biodiversidad* (pp. 399-463). Guatemala: CONAP.
- Azurdia, C.**, editor (1995) Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. Guatemala: USAC-ICTA-IBPGR, 172 p.
- Baker, A. D.** & Smith, R. L (1974). Preparation of solutions for atomic absorption analysis of Fe, Mn, Zn, and Cu in plant tissue. *Journal of Agriculture & Food Chemistry*, 22, 103.
- Beecher, G. R.** (2003). Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake. *Journal of Nutrition*, 133 (10):3248S–354S.
- Black, M. M.** (2012). Integrated strategies needed to prevent iron deficiency and to promote early child development. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 26, 120-123.
- Bowman, A. B.**, Kwakye, G. F., Herrero Hernández, E. & Aschner, M. (2011). Role of manganese in neurodegenerative diseases. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 25, 191-203.
- Bressani, R.**, Elias, L. G., Aguirre, A., & Scrimshaw, N. S. (1961). All vegetable protein mixtures for human feeding. III. The development of INCAP vegetable mixture nine. *Journal of Nutrition*, 74, 201-208.
- Cáceres, A.**, Cruz, S. M., Gaitán, I., Guerrero, K., Álvarez, L. E., & Marroquín, M. N. (2012). Antioxidant activity and quantitative composition of extracts of *Piper* species from Guatemala with potential use in natural product industry. *Acta Horticulturae*, 964, 77-84.
- Cáceres A.**, Lange, K., Cruz, S. M., Velásquez, R., Lima, S., ..., González, J. (2012b). Assessment of antioxidant activity of 24 native plants used in Guatemala for their potential application in natural product industry. *Acta Horticulturae*, 964, 85-92.
- Campos, J. R.** (2003). Contenido de macronutrientes, minerales y carotenos en plantas comestibles autóctonas de Guatemala (Tesis de Nutricionista). Guatemala: Facultad de CCQQ y Farmacia, USAC, 128 p.

- Capdor, J.,** Foster, M., Petocz, P., & Samman, S. (2013). Zinc and glycemic control: A meta-analysis of randomized placebo controlled supplementation trials in humans. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27, 137-142.
- Cavan, K. R.,** Gibson, R. S., Grazioso, C. J., Isalgue, A. M., Ruz, M., & Solomons, N. W. (1993). Growth and body composition of peri-urban Guatemalan children in relation to zinc status: a cross sectional study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53, 334-43.
- Charoensin, S.** (2014). Antioxidant and anticancer activities of *Moringa oleifera* leaves. *Journal of Medicinal Plant Research*, 8, 318-325.
- Chevaux, K. A.,** Jackson, L., Villar, E. M., Mundt, J. A., Commisso, J. F., Adamson, G. E. et al. (2001). Proximate, mineral and procyanidin content of certain foods and beverages consumed by the kuna Amerinds of Panama. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 553-563.
- Christian, P. & Stewart, C. P.** (2010) Maternal micronutrient deficiency, fetal development, and the risk of chronic disease. *Journal of Nutrition*, 140, 437-445.
- Cifuentes, R.,** Pöll, E., Bressani, R., & Yurrita, S. (2010). Caracterización botánica, molecular, agronómica y química de los cultivares de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) de Guatemala. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 21, 34-49.
- Ciudad Reynaud, A.** (2014). Simposio nutrición en la gestación y lactancia: Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60, 161-170.
- CONAFOR-INCAP-OPS-UNICEF** (2006). *Situación de los programas de fortificación de alimentos. Informe Anual Guatemala 2006*. Guatemala: CONAFOR-INCAP-OPS-UNICEF.
- Cook, J. D.,** Reddy, M. B., Burri, J., Juillerat, M. A., & Hurrell, R. F. (1997). The influence of different cereal grains on iron absorption from infant cereal food. *American Journal of Clinical Nutrition*, 65, 964-969.
- Coppin, J.** (2008) *A study of the nutritional and medicinal values of Moringa oleifera leaves from sub-Saharan Africa: Ghana, Rwanda, Senegal and Zambia* (MS Thesis). New Brunswick, Rutgers University.
- Corzo Márquez, A. R. & Schwartz, N. B.** (2008). Traditional home gardens of Petén, Guatemala: Resource management, food security, and conservation. *Journal of Ethnobiology*, 28, 305-317.
- Davidsson, L.,** Dimitriou, T., Boy, E., Walczyk, T., & Hurrell, R. F. (2002). Iron bioavailability from iron-fortified Guatemalan meals based on corn tortillas and black bean paste. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75, 535-539.
- Delgado, H. L.** (2010). Bases para el Mejoramiento de la Situación de Desnutrición Crónica en Guatemala. Informe Técnico. Publicado por el Proyecto de USAID de Mejoramiento de la Atención en Salud. Bethesda, MD: University Research Co., LLC (URC).
- Dermience, M.,** Lognay, G., Mathieu, F., & Goyens, P. (2015). Effects of thirty elements on bone metabolism. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, doi: org/10.1016/j.temb.2015.06.005.
- Donkoh, A.,** Atuahene, C. C., Poku-Prempeh, Y. B., & Twum, I. G. (1999). The nutritive value of chaya leaf meal (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) Johnston): studies with broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 77, 163-172.
- Dovie, D. B. K.,** Shackleton, C. M., & Witkowski, E. T. F. (2007). Conceptualizing the human use of wild edible herbs for conservation in South African communal areas. *Journal of Environmental Management*, 84, 146-156
- Duke, J. A., & Atchley, A. A.** (1986). *Handbook of Proximate Analysis Tables of Higher Plants*. Boca Raton, CRC Press, 389 p.
- Dusek, P.,** Roos, P. M., Litwin, T., Schneider, S. A., Flaten, T. P., & Aaseth, J. (2014). The neurotoxicity of iron, copper and manganese in Parkinson's and Wilson's disease. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31, 193-203.

- East, A. J.,** & Dawes, L. A. (2009) Homegardening as a panacea: A case study of South Tarawa. *Asia Pacific Viewpoint*, 50, 338-352.
- Ejoh, R. A.,** Nkonga, D. V., Inocent, G., & Moses, M. C. (2007). Nutritional components of some non-conventional leafy vegetables consumed in Cameroon. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 712-717.
- Ekweagwu, E.,** Agwu, A. E., & Madukwe, E. (2008). The role of micronutrients in child health: A review of the literature. *African Journal of Biotechnology*, 7, 3804-3810.
- Enneman, A.,** Hernández, L., Campos, R., Vossenaar, M., & Solomons, N. W. (2009). Dietary characteristics of complementary foods offered to Guatemalan infants vary between urban and rural settings. *Nutrition Research*, 29, 470-479.
- Fagbohun, E. D.,** Egbebi, A. O., & Lawal, O. U. (2012). Phytochemical screening, proximate analysis and *in-vitro* antimicrobial activities of methanolic extract of *Cnidioscolus aconitifolius* leaves. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 13, 28-33.
- Flyman, M. V.,** & Afolayan, A. J. (2006). The suitability of wild vegetables for alleviating human dietary deficiencies. The suitability of wild vegetables for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*, 72, 492-497.
- Fraga, C. G.** (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 235-244.
- Gibson, R. S.** (1994). Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59 (suppl), 1223S-1232S.
- Girvetti, L. E.,** & Ogle, B. M. (2000). Value of traditional foods in meeting macro- and micronutrient needs: the wild plant connection. *Nutrition Research Reviews*, 13, 31-46.
- Gockowski, J.,** Mbazo'o, J., Mbah, G., & Moulende, T. F. (2003). African traditional leafy vegetables and the urban and peri-urban poor. *Food Policy*, 28, 221-235.
- Guil Guerrero, J. L.,** Giménez Martínez, J. J., & Torija- Isasa, M. E. (1998). Mineral nutrient composition of edible wild plants. *Journal of Food Composition and Analysis*, 11, 322-328.
- Gupta, S.,** Lakshmi, A. J., Manjunath, M. N., & Prakash, J. (2005). Analysis of nutrient and antinutrient content of underutilized green leafy vegetables. *LWT*, 38, 339-345.
- Gupta, S.,** Lakshmi, J., & Prakash, J. (2006). *In vitro* bioavailability of calcium and iron from selected green leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2147-2152.
- Gutierrez, D. M.,** Ortiz, D., Muñoz, G., Bah, M., & Serrano, V. (2010). Contenido de sustancias antinutricionales de malezas usadas como forraje. *Revista Latinoamericana de Química*, 38, 58-67.
- Johns, T.,** & Eyzaguirre, P. B. (2007). Biofortification, biodiversity and diet: A search for complementary application against poverty and malnutrition. *Food Policy*, 32, 1-24.
- Kasperczyk, A.,** Dobrakowski, M., Horak, S., Zaleska-Fiolka, J., & Birkner, E. (2015). The influence of macro and trace elements on sperm quality. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 30, 153-159.
- Kilin, M.,** Coskun, A., Bilge, F., Imrek, S. S., & Atlu, Y. (2010). Serum reference levels of selenium, zinc and copper in healthy pregnant screening program in southeastern Mediterranean region of Turkey. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 24, 152-156.
- Klevay, L. M.** (2001). Iron overload can induce mild copper deficiency. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 14, 237-240.
- Lal, C. S.,** Kumar, S., Ranjan, A., Ravidas, V. N., Verma, N., ..., Das, P. (2013). Comparative analysis of serum zinc, copper, magnesium, calcium and iron level in acute and chronic patients of visceral leishmaniasis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27, 98-102.

- Lee, J.,** Houser, R. B., Must, A., Dulladosa, P. P., & Bermudez, O. I. (2010). Disentangling nutritional factors and household characteristics related to child stunting and maternal overweight in Guatemala. *Economics & Human Biology*, 8, 188-196.
- Loewenberg, S.** (2009). Guatemala's malnutrition crisis. *Lancet*, 374, 187-189.
- López de Romaña, D.,** Olivares, M., Uauy, R., & Araya, M. (2011). Risks and benefits of copper in light of new insights of copper homeostasis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 25, 3-13.
- Marroquín, M. N.,** Cruz, S. M., & Cáceres A. (2012). Antioxidant activity and phenolic compounds in three species of *Passifloraceae* (*Passiflora edulis*, *P. incarnate*, *P. ligularis*) from Guatemala. *Acta Horticulturae*, 964, 93-98.
- Martínez, A. B.** (1993). *Cultive y aliméntese con blede*. Guatemala: IIME-USAC, 80 p.
- Martínez, A. B.** (2006). Hierba mora, chipilín y jícama para alimentarse con calidad y economía. Guatemala: Editorial Serviprensa, 63 p.
- Medinilla, B.** (1996) Manual de laboratorio de farmacognosia. Guatemala: Universidad de San Carlos, 34 p.
- Michalke, B. & Fernsebner, K.** (2014). New insights into manganese toxicity and speciation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28, 106-116.
- Miller, D. D.,** Schrickler, B. R., Rasmussen, B. S., & Van Campen, D. (1981). An in vitro method for estimation of iron availability from meals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34, 2248-2256.
- Morales, M. L., & Troncoso, A. M.** (2012). Sustancias antinutritivas presentes en los Alimentos. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
- MSPAS** (2010). *II Encuesta Nacional de Micronutrientes 2009-2010*. Guatemala: MSPAS/INCAP.
- Mugisha, M. K.,** Asiimwe, S., Namutebi, A., Borg-Karlson, A-K. & Kakuddi, E. K. (2014). Ethnobotanical study of indigenous knowledge on medicinal and nutritious plants used to manage opportunistic infections associated with HIV/AIDS in western Uganda. *Journal of Ethnopharmacology*, 155, 194-202.
- Natural Standard.** (2010). Natural Standard Herb & Supplement: An Evidence-Based Reference. Mosby ISBN-10: 032307295X.
- Navarro, M. C.,** Montilla, M. P., Cabo, M. M., Galisteo, M., Cáceres, A., Morales, C., & Berger, I. (2003). Antibacterial, antiprotozoal and antioxidant activity of five plants used in Izabal for infectious diseases. *Phytotherapy Research*, 17, 325-329.
- Negri, A.,** Spivacow, F., & Del Valle, E. (2013). La dieta en el tratamiento de litiasis renal. Bases Fisiopatológicas. *Medicina* (Buenos Aires), 73, 267-271.
- Olivares, M.,** Pizarro, F., de Pablo, S., Araya, M., & Uauy, R. (2004). Iron, Zinc, Copper: Contents in common Chilean foods and daily intakes in Santiago, Chile. *Nutrition*, 20, 205-212.
- Özcan, M.** (2004). Mineral content of some plants used as condiments in Turkey. *Food Chemistry*, 84, 437-440.
- Özcan, M. M.,** Ünver, A., Uçar, T., & Arslan, D. (2007). Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chemistry*, 106, 1120-1127.
- Phillips, M.,** Sanghvi, T., Suárez, R., McKigney, J., & Fiedler, J. (1995). The cost effectiveness of three vitamin A interventions in Guatemala. *Social Science and Medicine*, 12, 1661-1668.
- Piccinelli, A. L.,** Arana, S., Cáceres, A., di Villa Bianca, R., Sorrentino, R., & Rastrelli, L. (2004). New lignans from the roots of *Valeriana prionophylla* with antioxidative and vasorelaxant activity. *Journal of Natural Products*, 67, 1135-1140.
- Picó, B., & Nuez, F.** (2000). Minor crops of Mesoamerica in early sources (I). Leafy vegetables. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47, 527-540.
- Prakash, D., & Pal, M.** (1991). Nutritional and antinutritional composition of vegetable and grain amaranth leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57, 573-583.

- Prasad, A. S.** (2009) Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. *Journal of the American College of Nutrition*, 28, 257-265.
- Prasad, A. S.** (2014). Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28, 357-363.
- Radek, M.,** & Savage, G. P. (2008). Oxalates in some Indian green leafy vegetables. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 59, 246-260.
- Raghavendra, M.,** Reddy, A. M., Yadav, P. R., Raju, A. S., & Kumar, L. S. (2013) Comparative studies on the in vitro antioxidant properties of methanolic leafy extracts from six edible leafy vegetables of India. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 6, 96-99.
- Ramakrishnan, U.,** Manjrekar, R., Rivera, J., González-Cossio, T., & Martorell, R. (1998). Micronutrients and pregnancy outcome: A review of the literature. *Nutrition Research*, 19, 103-159.
- Ramírez-Orduña, R.,** Ramírez, R. G., González-Rodríguez, H. & Haenlein, G. F. W. (2005). Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research*, 57, 1-10.
- Rashed, M. N.** (2011). The role of trace elements on hepatitis virus infections: A Review. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 25, 181-187.
- Rink, L.** & Haase, H. (2006). Zinc homeostasis and immunity. *Trends in Immunology*, 28, 1-4.
- Rude, R. K** & Gruber, H.E. (2004) Magnesium deficiency and osteoporosis: animal and human observations. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 15, 710-716.
- Rude, R. K.** (2001) Magnesium deficiency in parathyroid function (pp. 763-777). In: J. P. Bilezikian et al. (Ed.) - *The Parathyroids*. New York: Academic Press.
- Salazar, J.,** Velásquez, R., Quesada, S., Piccinelli, A.L. & Rastrelli, L. (2006). Chemical composition and antinutritional factors of *Lycianthes synanthera* leaves (chomte). *Food Chemistry*, 97, 343-348.
- Sánchez, J.** (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas: Conceptos Básicos*. San José: IICA.
- Sánchez-González, C.,** López-Chaves, C., Gómez-Aracena, J., Galindo, P., Aranda, P., & Llopis, J. (2015). Association of plasma manganese levels with chronic renal failure. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31, 78-84.
- Sandstead, H. H.,** & Freeland-Graves, J. H. (2014). Dietary phytate, zinc and hidden zinc deficiency. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28, 414-417.
- Scherz, H.,** & Kirchoff, E. (2006). Trace elements in food: Zinc content of raw food – A comparison of data originating from different geographical regions of the world. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 420-433.
- Schümann, K.** (2006). Dietary reference intakes for trace elements revisited. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20, 59-61.
- Sharma, N.,** Gupta, P. C., & Rao, Ch. V. (2012). Nutrient content, mineral content and antioxidant activity of *Amaranthus viridis* and *Moringa oleifera* leaves. *Research Journal of Medicinal Plants*, 6, 253-259.
- Soldin, O. P.,** & Aschner, M. (2007). Effects of manganese on thyroid hormone homeostasis: Potential links. *NeuroToxicity*, 28, 951-956.
- Solomons, N. W.,** & Ruz, M. (1997). Zinc and iron interaction: Concepts and perspectives in the developing world. *Nutrition Research*, 17, 177-185.
- Sotelo, A.,** González-Osnaya, L., Sánchez-Chinchillas, A. & Trejo, A. (2010). Role of oxate, phytate, tannins and cooking on iron bioavailability from foods commonly consumed in Mexico. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61, 29-39.
- Spillari-Figueroa, M. M.** (1983). Composición química de diferentes cultivos de hierbamora (*Solanum* sp.), chipilín (*C. longirostrata*) y amaranto (*Amaranthus* spp.) (Tesis de Licenciatura). Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

- Toledo, A.,** & Burlingame, B. (2006). Biodiversity and nutrition: A common path toward global food security and sustainable development. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 477-483.
- Tontisirin, K.,** Nantel, G., & Bhattacharjee, L. (2002). Food-based strategies to meet the challenges of micronutrient malnutrition in the developing world. *Proceeding of the Nutrition Society*, 61, 243-250.
- Umamoto, N. S.,** Houston, R. A., Solomons, N., & Mendoza, I. (1999). Development and evaluation of an educational program to promote the use of iodized salt in Guatemala. *Nutrition Research*, 19, 1603-1612.
- Uusiku, N. P.,** Oelofse, A., Duodu, K. G., Bester, M. J., & Faber, M. (2010). Nutritional value of leafy vegetables of sub-Saharan Africa and their potential contribution to human health: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 499-509.
- Valdés-Ramos, R.,** & Solomons, N. W. (2002). Preventive nutrition: its changing context in MesoAmerica. *Nutrition Research*, 22, 145-152.
- Venskutonis, P. R.,** & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of Amaranth seeds and vegetables: A review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 12, 381-412.
- Vorman, J.** (2003). Magnesium: nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 27-37.
- Welch, R. M.,** & Graham, R. D. (2005). Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18, 299-307.
- White, P. J.,** & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182, 49-84.
- Wu Leung, W. T.,** & Flores, M. (1961). *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina*. Bethesda: National Institutes of Health, 132 p.
- Yehuda, S.,** & Mostofsky, D. (2010). *Iron deficiency and overload: From basic biology to clinical medicine*. New York: Humana Press, 371 p.
- Zatta, P.,** & Frank, A. (2007) Copper deficiency and neurological disorders in man and animals. *Brain Research Reviews*, 54, 19-33.

Cuadro 20. Resultados de Generación de Conocimiento

OBJETIVOS	RESULTADOS ESPERADOS	ESTADO DE AVANCE (%)	INDICADOR VERIFICABLE ESPERADO Y/U OBTENIDO	OBSERVACION
1. Seleccionar, coleccionar y procesar ocho especies de hierbas nativas de uso alimenticio tradicional en Mesoamérica y dos de amplio uso internacional.	Obtención de materia vegetal seca y caldos	100%	POE de secado y cocción de materia vegetal g de materia vegetal seca y porcentaje de rendimiento de cada decocción.	Faltan coleccionar tres plantas de la segunda procedencia por cada especie
2. Cuantificar los niveles de oligoelementos (Mg, Cu, Zn, Fe y Mn) presentes en la hierba seca y el cocimiento de las especies, la biodisponibilidad de hierro y la presencia de compuestos anti-nutricionales como taninos y oxalatos.	Obtención de niveles de Mg, Cu, Zn, Fe y Mn. Estandarización de cuantificación de oxalatos y determinación de biodisponibilidad de hierro.	100%	g totales de Mg, Cu, Zn, Fe y Mn Procedimientos estandarizados de determinación de oxalatos, taninos y biodisponibilidad de hierro.	Metodología puesta a punto Análisis de 10 especies
3. Determinar la actividad antioxidante de los alimentos coleccionados por las técnicas de DPPH y fenoles totales por métodos micrométricos.	Determinación de actividad antioxidante de vitamina C y quercetina.	100%	Cl ₅₀ de actividad antioxidante de vitamina C y quercetina. PEO de la determinación de actividad antioxidante por DPPH micrométrico Actividad antioxidante de extractos	Metodología estandarizada Se ha analizado el 50% por la técnica de DPPH
4. Comparar el análisis foliar y del suelo para demostrar los elementos que se están extrayendo del suelo y correlacionar su composición.	Análisis físico-químico de los suelos de los lugares de colecta	100%	PEO de la metodología para obtención de suelo Análisis físico-químico de suelos	Metodología puesta a punto Análisis de 10 suelos
5. Difundir la información generada mediante la preparación de un informe técnico científico, un folleto con la información popular de cada especie, una reunión con grupos de base para informar de los resultados y propiciar la participación en eventos públicos para estimular el consumo de estas hierbas a diversos niveles.	Se llevó a cabo la elaboración del contenido de un folleto de difusión y recopilación de información para elaboración de monografías.	100%	Contenido del Folleto informativo Folleto informativo Informe técnico Presentaciones públicas	9 monografías de las especies 2 recetas elaboradas y 6 en edición
	Total	500/500		

Fuente: FODECYT 69-2012

ANEXOS

Anexo 1. BIOGRAFIA ACADEMICA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL

Armando Cáceres Estrada es Químico Biólogo de la Facultad de CCQQ y Farmacia, Universidad de San Carlos (USAC), con estudios de Especialización en Inmunología en las Universidades de Wisconsin, Lausanna, Brasilia y del Valle (Colombia) y entrenamiento en Farmacognosia en la Facultad de Farmacia, USAC y Universidad Kitasato, Japón.

De 1972 a 2013 fue Profesor de Inmunología e Inmunopatología en la Facultad de CCQQ y Farmacia de la USAC; desde 2004 es Profesor en el Diplomado en Medicina Biológica de la Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina y en la Maestría en Plantas Medicinales (USAC) y desde 2012 es profesor de Medicinas Integrativas y Fitoterapia en la Universidad Galileo.

Ha sido Asesor, Director de Proyectos y Director Ejecutivo del Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Apropiada (CEMAT); Consultor sobre Desarrollo Rural, Salud Ambiental y desarrollo del uso ecológico de plantas medicinales para diversas instancias nacionales e internacionales; Director Nacional de la Comisión Nacional para Aprovechamiento de las Plantas Medicinales (CONAPLAMED) y Coordinador de la Red Iberoamericana de Productos Fitofarmacéuticos (RIPROFITO) del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y Coordinador del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT). Actualmente es Director de Investigaciones del Laboratorio de Productos Naturales Farmaya S.A.

Ha sido asesor o evaluador de proyectos de etnobotánica, agrotecnología y fitoterapia para organismos gubernamentales y no gubernamentales y empresas fitoterápicas de Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Perú. Ha sido miembro de varias comisiones nacionales e internacionales para la validación, producción, control y equiparación de la fitoterapia en los servicios de salud, y miembro de ocho asociaciones científicas internacionales, del Consejo de Notables y de la Comisión Consultiva del CONCYT y directivo de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales.

Ha recibido subsidios de investigación nacionales [CONCYT, Dirección General de Investigación (DIGI) e Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB)] e internacionales [Organización Mundial de la Salud (OMS), Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), Organización de los Estados Americanos (OEA), Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología (CYTED), e Institutos Nacionales de Salud (NIH)].

Ha recibido varios premios nacionales e internacionales, particularmente el Premio José Capote Díaz 1989 (Federación Panamericana de Farmacia y Bioquímica), Premio Centroamericano Nestlé de Pediatría 1992, Medalla de Ciencia y Tecnología 1998, Medalla Universitaria 2000 y Premio a la Excelencia Académica 2011.

Autor de más de 250 publicaciones y presentaciones en eventos científicos y varios libros especializados sobre validación, producción, fitofarmacia, fitoterapia y legislación de plantas medicinales y organizador de más de 80 eventos científicos nacionales e internacionales y de transferencia tecnológica al sector productivo sobre los temas de su especialidad.

PLANTAS ALIMENTICIAS

Texto: Miriam Pedraza Ilustración: Nelson Xajé • Nuestro Diario

Son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Con el fin de promover el consumo de plantas alimenticias, el gobierno de Guatemala ha lanzado una campaña de promoción de estas plantas. Estas plantas son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

El consumo de plantas alimenticias se basa en ocho tipos de plantas que se consumen en la dieta diaria. Estas plantas son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

Las plantas alimenticias son una fuente alternativa de todo tipo de vitaminas, minerales y aminoácidos y necesarias para la salud.

HORTALIZAS NATIVAS

La flora de Guatemala tiene una importancia ecológica y cultural muy alta. Desde la época precolombina, los indígenas han sabido utilizar sus recursos para alimentarse y los conocimientos sobre su uso se transmiten de generación en generación.

CHAYNA

Las hojas tiernas se cocinan en caldo o sopa y cruda, en ensalada. En Guatemala se consume en las zonas de alta montaña y producción en el departamento de Peten y Sanarate.

ARBIZOTE

Las hojas y frutos se utilizan para hacer platos como el arroz con chiles y el arroz con pollo.

BIELO

Se consume en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

ESPIRACA

Las hojas se consumen en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

GIÑISQUIL

Se consume la flor y el fruto. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

MORANGA

Las hojas, frutos y vainas se consumen en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

QUILETE

Las hojas y vainas se consumen en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

CHIPILIN

Las hojas y frutos se consumen en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

QUINA TALUS

Se consume en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.

HERNIA ABOL

Se consume en ensaladas y en sopas. Es una planta que se consume en las zonas de alta montaña.



SOPA DE QUILTE

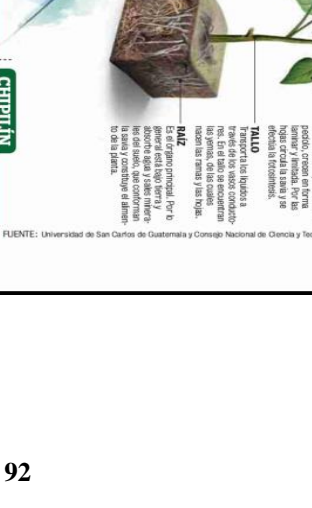
Esta sopa es una fuente de proteínas y vitaminas. Se consume en las zonas de alta montaña.

PARTES DE UNA PLANTA

Una planta tiene varias partes que son importantes para su crecimiento y reproducción.

NUESTRO REPORTAJE

Este reportaje trata sobre las plantas alimenticias que se consumen en Guatemala.



FUENTE: Universidad de San Carlos de Guatemala y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt).