

# Factores y elementos ambientales que influyen en el rendimiento de la extracción de la cafeína de la *Coffea arabica*

*¿Cuáles son los factores ambientales que influyen en el rendimiento de la extracción de cafeína de la especie Coffea arábica?*

Materia: Biología

Número de palabras: 3743

*“Confirmando que soy el autor de este trabajo y que no he recibido más ayuda que la permitida por el Bachillerato Internacional. He citado debidamente las palabras, ideas, o gráficos de otra persona, se hayan expresado estos de forma escrita, oral, o visual”*

## Contenido

1. Resumen .....	1
2. Introducción .....	2
3. Marco Teórico .....	3
3.1. Metabolismo Vegetal.....	3
3.2. Componentes químicos vegetales o metabolitos.....	4
3.3. Alcaloides y los factores involucrados en su extracción .....	6
3.4 La cafeína .....	7
4. Pregunta de investigación.....	8
5. Hipótesis.....	8
6. Objetivo.....	8
7. Metodología.....	8
8. Desarrollo.....	9
8.1. Factores que inciden en el rendimiento de la <i>Coffea arabica</i> .....	9
8.2. Estudios en Latinoamérica sobre la <i>Coffea arabica</i> y sus compuestos.....	10
9. Resultados.....	19
10. Discusión .....	19
11. Conclusiones .....	21
12. Referencias.....	23
13. Anexos.....	29

## **1. Resumen**

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que se desarrollan en el organismo para poder subsistir, obteniendo los llamados metabolitos primarios que son vitales para sobrevivir y los secundarios, que se producen en algunas especies vegetales por la interacción con el entorno, para protegerse de depredadores, bacterias, hongos o virus. Son esos metabolitos secundarios los que se pueden utilizar farmacológicamente <sup>1,2</sup>, en particular, los alcaloides, siendo importante conocer los procesos de extracción y sus resultados.

Aproximadamente existen 270,000 especies de plantas, las cuales contienen, 200,000 a 1,000,000 de metabolitos secundarios<sup>3</sup> que pueden ser extraídos. La presente investigación se enfocó específicamente en la extracción de la cafeína de la *Coffea arabica*, y se contrastaron diversas fuentes que describen la manera en que factores como la altura y niveles de sombra afectan de manera considerable la cantidad de cafeína extraída.

## 2. Introducción

Los compuestos de origen biológico generados en el metabolismo secundario tienen una gran importancia en las distintas industrias de la actualidad, sobre todo las que tienen interés en una utilidad agrícola, cosmética, veterinaria y farmacéutica.<sup>1</sup> Desde los inicios, la humanidad ha utilizado a diversas plantas, extrayendo sus metabolitos secundarios para tratar infecciones y enfermedades. El uso de productos naturales hoy en día no es tan popular debido a que han sido reemplazadas por las empresas farmacéuticas, las cuales crean drogas sintéticamente, usando de base las estructuras presentes en estas mismas plantas.<sup>2</sup>

El interés en esta investigación relativa a los factores involucrados en la cantidad del metabolito o metabolitos extraídos, particularmente de la cafeína, se debe al papel tan importante para la humanidad, surgiendo la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores ambientales que influyen en el rendimiento de la extracción de cafeína de la especie *Coffea arábica*? Esto generó la siguiente hipótesis: “Los factores ambientales como el suelo, la temperatura y la altura influyen en la extracción de la cafeína de la especie *Coffea arabica*.” Para verificarla, incursioné en la Fitoquímica, una ciencia que se encarga de apoyar en el estudio Biológico de las plantas. Esta área se enfoca mayormente en el estudio de la estructura de diversos compuestos químicos presentes en las plantas. Además, se encarga de analizar sus diferentes rutas metabólicas, su distribución natural en el ambiente y sus propiedades biológicas.<sup>4</sup>

### 3. Marco Teórico

#### 3.1. Metabolismo Vegetal

El conjunto de reacciones químicas que se dan en el organismo para subsistir es conocido como el metabolismo. Las moléculas producidas en estas reacciones son necesarias para el funcionamiento correcto del mismo<sup>5,6</sup>. A pesar de las diferencias entre los distintos organismos, las rutas para poder modificar y sintetizar las sustancias primarias son similares<sup>7</sup>.

En el mundo vegetal existe una enorme diversidad de moléculas que han sido utilizadas por los humanos para diferentes fines<sup>8</sup>. Su estructura, funcionamiento fitoquímico, el metabolismo y regulación de cada molécula identificada y los innumerables procesos en que participan a nivel celular son sorprendentes (Figura 1)<sup>6</sup>. Y muchas especies vegetales han desarrollado mecanismos bioquímicos para su supervivencia ya que se encuentran fijas en el suelo, sin poder evadir parásitos y herbívoros. Es esa diversidad de compuestos que se han extraído de los vegetales para uso humano, los que se denominan productos vegetales naturales.<sup>4,6</sup>

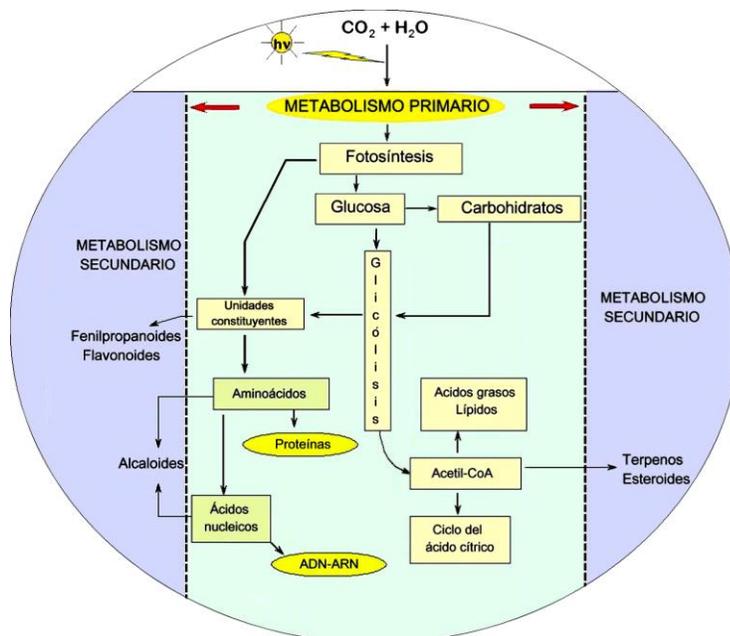


Figura 1. Elementos básicos del metabolismo primario y en relación con el metabolismo secundario de plantas <sup>6</sup>.

Actualmente hay al menos 270,000 especies de plantas, y el número total de metabolitos se estima que sea de 200,000 a 1,000,000.<sup>3</sup>

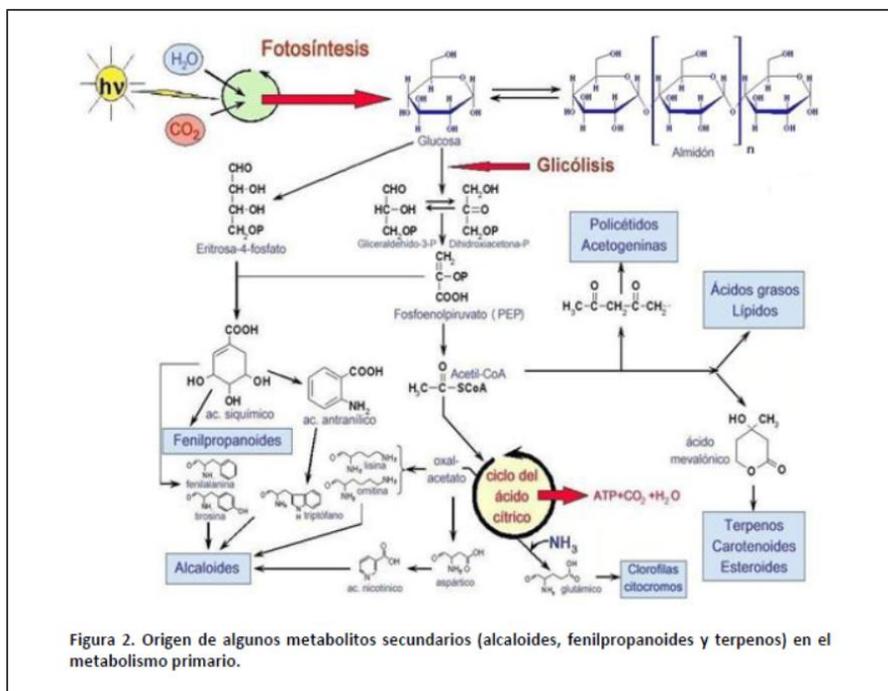
### 3.2. Componentes químicos vegetales o metabolitos

Los metabolitos se pueden clasificar como: *primarios* y *secundarios* (Figura 1).

Los compuestos clasificados como primarios son los esenciales para la supervivencia de un organismo, es decir, son los compuestos necesarios para poder desarrollar las estructuras y las reacciones que dan a lugar el crecimiento y la reproducción de este. Unos ejemplos comunes sería los hidratos de carbono, las proteínas, el ADN y el ARN.<sup>1,4,6,8</sup>

Por otra parte, tenemos a los compuestos secundarios o no esenciales, en la absorción de nutrientes o procesos respiratorios<sup>5,6</sup> siendo a veces, compuestos de desecho del metabolismo (Figura 2<sup>6</sup>). Las plantas utilizan una gran cantidad de carbono y energía para la síntesis de muchas moléculas orgánicas<sup>5</sup> que usa la planta para interactuar con el medio atrayendo insectos y otros polinizadores, repeliendo predadores o seres dañinos<sup>9</sup> protegiéndola de infecciones microbianas o virales, o para poder competir con otras plantas y poder sobresalir. En resumen, debido a que no pueden moverse necesitan desarrollar otros compuestos que los ayude a adaptarse.<sup>4,8,10</sup>

Es decir que sus funciones son de *tipo ecológico*.<sup>1,4</sup> Es importante indicar que estos metabolitos están limitados en su distribución en el reino de las plantas y pertenecen a un grupo taxonómico en particular.<sup>4,5</sup>



Los metabolitos secundarios se pueden clasificar en cuatro categorías principales. El primero es el grupo de los terpenos, y la mayoría de los metabolitos secundarios entra en esta categoría. Luego, tenemos a los compuestos fenólicos, los cuales se llaman así por tener el grupo fenol, un anillo que tiene un grupo funcional hidroxilo. Además, tenemos a los glicósidos, los que generalmente tienen un enlace glicosídico y son muy importantes en el ámbito médico. Por último tenemos a los alcaloides, los cuales varían pero se pueden considerar como compuestos que están nitrogenados y que son hidrofílicos.

Los metabolitos utilizados por sus efectos terapéuticos se conocen como constituyentes activos. Esos constituyentes farmacológicamente activos son a los que se les atribuye la actividad terapéutica de la droga; pueden ser una sustancia o una mezcla de principios. Los constituyentes aislados pueden ser alcaloides, glicósidos, enzimas, hormonas, vitaminas, por ejemplo, y las mezclas que tienen usos en la industria farmacéutica, de cosméticos, perfumería y lubricantes,

que incluyen aceites fijos, grasas, ceras, aceites volátiles, resinas, oleorresinas, gomorresinas, bálsamos, entre otros<sup>8</sup>.

Para obtener homogeneidad en esas drogas deben controlarse las condiciones de producción y las variaciones en contenido puede ser por dos causas<sup>8</sup>: Intrínsecas o endógenas (factores genéticos vegetales) y extrínsecas o exógenas (factores ambientales) .

### 3.3. Alcaloides y los factores involucrados en su extracción

El termino alcaloide (de alcalino) fue propuesto por el farmacéutico W. Meissner en 1819 y se aplica generalmente a los compuestos de origen vegetal con propiedades básicas alcalinas<sup>7,12</sup>. Y fueron los primeros principios activos aislados de las plantas. Son sustancias que contienen uno o más átomos de nitrógeno como parte de un sistema cíclico, si sus precursores son aminoácidos se consideran verdaderos alcaloides y son mayoritariamente de origen vegetal.<sup>8,11</sup>

Los alcaloides lo integran más de 15,000 metabolitos secundarios con tres características comunes:<sup>11</sup>

- a) son solubles en agua,
- b) contienen al menos un átomo de nitrógeno en la molécula.
- c) exhiben actividad biológica.

Los alcaloides son el grupo de metabolitos secundarios más encontrados en los organismos vivos y se han aislado en plantas e identificado en animales, insectos, invertebrados marinos y microorganismos.<sup>8,9</sup>

Los alcaloides generalmente son se definen como compuestos que tienen un nitrógeno heterocíclico, sin embargo, hay alcaloides con compuestos no cíclicos que todavía entran en la categoría.<sup>8,12,13.</sup>

### 3.4 La cafeína

La cafeína fue descubierta y aislada en 1820 por el químico alemán Ferdinand Runge. Se trata de un alcaloide perteneciente al grupo de las purinas, que aparece no solo en el café, sino también en el té y el chocolate. En un adulto sano se estima que su metabolización se efectúa entre las tres y las cinco horas después de la ingesta.<sup>13</sup>

Está presente en más de 60 especies de plantas, y se puede considerar como la sustancia estimulante con mayor consumo y la más socialmente aceptada a nivel mundial. Por ser alcaloide tiene efectos fisiológicos en el cuerpo, y se encuentra naturalmente en los granos de café.<sup>14</sup>

Las semillas de café principalmente se utilizan para elaborar la bebida estimulante del mismo nombre, pero también es útil como biofertilizantes, biocombustibles, biomasa y con fines medicinales (tratamiento de la malaria en Latinoamérica).<sup>15</sup>

#### **4. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son los factores ambientales que influyen en el rendimiento de la extracción de cafeína de la especie *Coffea arábica*?

#### **5. Hipótesis**

Los factores ambientales como el suelo, la temperatura y la altura influyen en el rendimiento de la extracción de la cafeína de la especie *Coffea arabica*.

#### **6. Objetivo**

Identificar y analizar los factores ambientales que influyeron en los resultados del rendimiento en la extracción de cafeína de la especie *Coffea arabica*, contrastando resultados de Guatemala, Nicaragua y México.

#### **7. Metodología**

Se utilizó el método exploratorio de investigación, con técnicas de gabinete, recopilando información en varios sitios de internet especializados en biología, fisiología y bioquímica vegetal o fitoquímica, realizando sistematización de este y haciendo análisis de los conocimientos producidos en relación con el tema. Es muy importante enfatizar que el tema de investigación tiene una parte práctica que es muy importante y fundamental, pero considerando las condiciones particulares en nuestro país debido a la pandemia del SARS-CoVid 2 y la inaccesibilidad de los recursos para experimentar, no es posible demostrar los hallazgos y replicar en un laboratorio, las reacciones bioquímicas necesarias.

## 8. Desarrollo

### 8.1. Factores que inciden en el rendimiento de la *Coffea arabica*

El café es una planta tropical que necesita unas condiciones específicas para poder cultivarse a nivel comercial. Factores como la temperatura, la lluvia, el sol, el viento y la composición del suelo son importantes para su desarrollo. La temperatura ideal para la especie *Coffea arabica L* es entre 15° y 25° grados centígrados.<sup>15</sup>

También crece mejor cuando las altitudes son más elevadas, y necesita precipitaciones anuales de entre 1.100 y 2000 mm, precisamente porque necesita temperaturas templadas. La falta de lluvia puede ser contrarrestada cuando hay mayores niveles de humedad atmosférica y hay mejores niveles de retención en el suelo donde fue cultivado.<sup>15</sup>

En cuanto al proceso de descafeinización, éste consiste en extraer la cafeína de cualquier materia que la contenga, como: café, cacao, mate, y té, entre otras; llevándose a cabo en distintas etapas, las cuales difieren una de las otras principalmente por: su naturaleza, el tiempo de extracción, y el uso de distintos solventes, los que deben mostrar afinidad por la cafeína para así favorecer el proceso de extracción.<sup>16</sup>

A la fecha, existen investigaciones que enfocan de manera integral, la producción de las plantas de café y los factores ambientales que pueden influir en el rendimiento de los compuestos extraídos. En Latinoamérica se encuentran países mayormente productores de la especie *Coffea arabica*, por lo tanto se ha seleccionado 3 investigaciones para validar la hipótesis, de todo el material documental obtenido, realizadas en Guatemala, Nicaragua y México las cuales tienen información en común que podía ser contrastada a la luz de tema de interés.

## 8.2. Estudios en Latinoamérica sobre la *Coffea arabica* y sus compuestos

### **Investigación de Guatemala<sup>17</sup>**

En esta investigación cuantitativa, exploratoria y descriptiva se evaluaron los componentes químicos de los granos de café comercializados, de siete regiones de Guatemala tomando muestras de 7 fincas. La planta de interés por su contenido de cafeína es la especie *Coffea arabica* L, que es la más cultivada (98.5% del café producido) y exportada, de Guatemala al resto del mundo, siendo el mayor productor de café en Centroamérica.

El método de extracción de la cafeína utilizó el solvente orgánico **etanol** (por percolación se obtuvo cafeína, ácido clorogénico) y la cuantificación de los compuestos se realizó por cromatografía. Las especies de *Coffea* se comercializan en todo el mundo y son conocidas por su efecto farmacológico.

“Para la determinación de cafeína se usó solución de acetato de plomo: A 10 mL de extracto de café se agregó 5 mL de solución de HCl y 1 mL de solución de acetato de plomo el cual fue diluido con 100 mL de agua destilada. La solución se filtró con papel Whatmann No. 1. El filtrado (25 mL) y 0.3 mL de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se mezcló, se diluyó a 50 mL con agua destilada y se filtró nuevamente. Se midió la absorbancia del filtrado a 274 nm. El contenido de cafeína (%) se calculó utilizando una curva de cafeína (0-250 mg/L), todas las mediciones se realizaron por quintuplicado para obtener promedio y desviación estándar”.

Según se observa en la Tabla 1 predomina la variedad Caturra, de la coffee arabica, en las regiones muestreadas.

**Tabla 1**

***Procedencia y variedad de muestras de café colectadas***

Región	Finca/Reserva Natural Privada	Lugar	Variedad
<b>I</b>	CAT Tajumulco	San Marcos	Caturra
<b>II</b>	Alianza S.A	Quetzaltenango	Sarchimor
<b>III</b>	Guardabarranca	Guatemala	Caturra
<b>IV</b>	Santa Isabel	Santa Rosa	Catisique
<b>V</b>	Santa Elena	Huehuetenango	Bourbón
<b>VI</b>	Rincón Grande	Baja Verapaz	Caturra
<b>VII</b>	Quetzal Muy	Zacapa	Caturra



<https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties/caturra>

Se ha elaborado la tabla 2 con base a los datos de la investigación, y se observa que predomina el clima templado en las regiones y la mayor cantidad de cafeína la presentó el grano la región I de San Marcos (1.193 %).

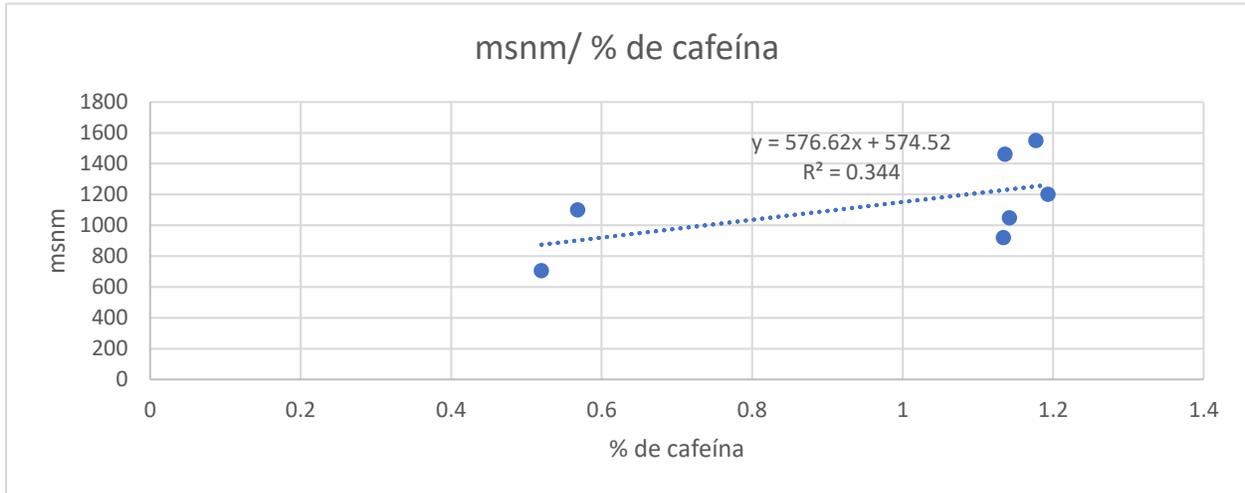
	San Marcos	Quetzaltenango	Guatemala	Santa Rosa	Huehuetenango	Baja Verapaz	Zacapa
Altura (msnm)	1200	705	1550	1048	920	1100	1460
Clima	Templado	Templado	Templado a cálido	Templado	Templado a cálido	Templado a húmedo	Húmedo a templado
Peso total del grano utilizado (kg)	0.1	1.7	0.1	0.1	0.5	0.8	0.1
% de cafeína	1.193	0.520	1.177	1.142	1.134	0.568	1.136

*Tabla 2: % de cafeína por altura y clima.*

De esta investigación se pudo concluir que efectivamente el ambiente en donde se cosecha el grano afecta en el % de cafeína, obteniendo mejores resultados usando el etanol de 50% y al 70% como solvente debido a la alta polaridad. La cafeína claramente está relacionada con la altura, y en las regiones de Guatemala los granos presentaron mayor cantidad de cafeína en alturas elevadas, también es influenciada por propiedades genéticas y factores ambientales como el suelo, la altura y la exposición solar.

La variedad que predomina en 4 regiones es la Caturra, esta variedad es originaria de Brasil, mutación de Bourbon, resistente al viento, rangos altitudinales por lo que predominó en cuatro regiones.

La región I presentó la mayor cantidad de cafeína (1.193 %). En la composición química, no hay diferencia de la cafeína en el grano en tres regiones IV, V y VII.



### Investigación de México<sup>18</sup>

En esta investigación se utilizaron mezclas de granos de café 100% Arábica, de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Nayarit (granos verdes y con cuatro niveles de tostado ligero, medio, alto y oscuro).

El rendimiento de los granos de café por su contenido de cafeína y región se refleja en la Figura

1.

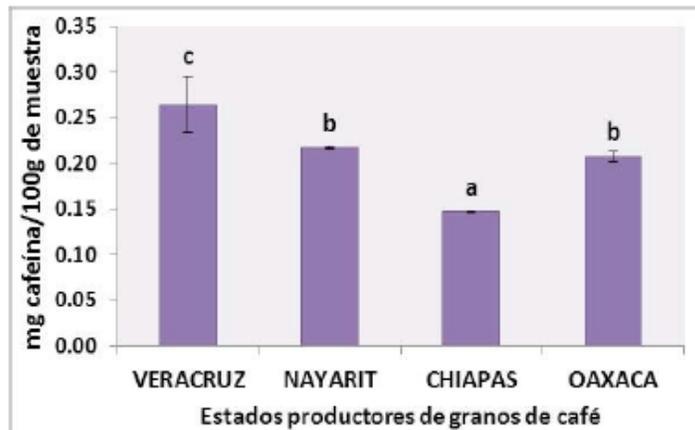


Figura 1. Contenido de cafeína en granos de café verdes procedentes de diferentes regiones de México. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

Los granos de café de Oaxaca no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el contenido de cafeína en los granos con tostados medio, alto y oscuro, manteniéndose en valores de 0.30 g de cafeína/ 100g (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de cafeína (mg de cafeína/g) en mezclas de café arábica a diferentes niveles de tostado, de 4 regiones en México.

<b>Nivel de tostado</b>	<b>Veracruz (mg de cafeína/ 100g)</b>	<b>Nayarit (mg de cafeína/ 100g)</b>	<b>Chiapas (mg de cafeína/ 100g)</b>	<b>Oaxaca (mg de cafeína/ 100g)</b>
<b>Ligero</b>	0.49±0.00 b	0.42±0.01 c	0.45±0.01 a	0.37±0.01 c
<b>Medio</b>	0.43±0.00 a	0.32±0.01 a	0.66±0.00 c	0.29±0.00 a
<b>Alto</b>	0.44±0.00 a	0.43±0.00 c	0.70±0.06 c	0.31±0.00 b
<b>Oscuro</b>	0.47±0.02 b	0.37±0.00 b	0.52±0.00 b	0.32±0.00 a,b

*Los datos presentados son el promedio  $\pm$  desviación estándar. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).*

Los granos de café verdes producidos en Veracruz tienen mayor contenido de fenoles y cafeína y los de Chiapas fueron los que presentaron menor contenido. De esta tabla podemos analizar que el principal factor que afecta en el contenido de cafeína es el ambiente en donde se desarrolla, ya que los distintos niveles de tostado no afectan de manera significativa el rendimiento.

### **Investigación de Nicaragua<sup>19</sup>**

En esta investigación se valoró los distintos efectos que tenía el cambio de la altura y de los niveles de sobre el rendimiento del café, y fue realizada en Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y en Waslala. La altitud influyó en la calidad física del grano, en el aroma, cuerpo, acidez, sabor y preferencia y en el rendimiento en extracción de cafeína. La sombra influyó en la calidad física del y los compuestos presentes en el café.

El Grupo I, poseía una altura promedio menor a los 1000 metros sobre el nivel del mar, con un uso escaso de fertilizantes, bajos rendimientos en las extracciones y con mucha cobertura de sombra en las plantas. Los cafés de estas regiones estaban caracterizados por ser granos y tener mejores características organolépticas.

En el Grupo II cuenta con alturas promedio de 1050 a 1145 metros sobre el nivel del mar. En este caso se efectuó un mejor uso de fertilizantes y dio mayores rendimientos que los del grupo I.

Por último en el Grupo III se contaba con una altura promedio mayor a 1290 metros sobre el nivel del mar pero con menos sombra para el café, por lo que se encontró mayores concentraciones en las grasas y en los ácidos.

El alto porcentaje de cafeína y de ácido clorogénico en el grano de café causa que la bebida producida sea más amarga y menos adecuada para el consumo.

Estas áreas se escogieron estratégicamente para poder cubrir granos provenientes de las tres regiones del país, la norte, la central y la pacífica. Las áreas que dieron un mayor rendimiento y fueron las del norte y la central, ya que tienen las condiciones más adecuadas para su cultivo.

(Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales regiones productoras de café, Nicaragua

Regiones	Nivel Nacional		Altitud Rango (msnm)	Tecnología	
	área (%)	Producción (%)		Nivel	%
Nueva Segovia/Madriz	20	13	800-1300	T1	69
Jinotega	33	45	700-1300	T3	64
Matagalpa	24	33	700-1300	T1 T3	46 42
Pacífico/Estelí/Boaco	23	9	450-900	T2 T1	35 42
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>450-1300</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fuente: IICA 2003 y 2004

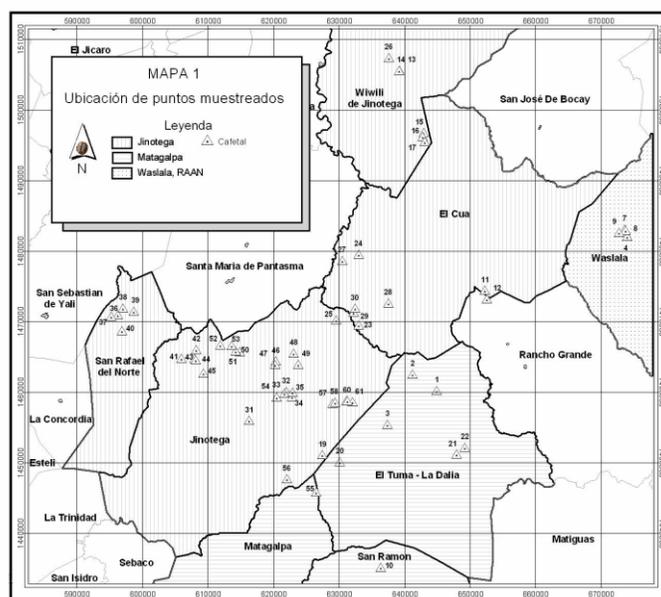


Figura 1. Ubicación de los 67 puntos de muestreo en la Zona Norte de Nicaragua.

Las muestras de café obtenidas fueron de la variedad Caturra por ser la predominante en la zona, determinándose la altitud y la sombra.

“El análisis de la composición bioquímica (materia grasa, sacarosa, ácidos clorogénicos, trigonelina y cafeína) se hizo por medio de la técnica de Espectrometría Reflectante Cercana al Infrarrojo (NIRS) (Modelo 6500 desarrollado por NIRS Systems Inc., Silver Spring, Md). Se utilizó una muestra de 50 g de café verde molido con partículas menores a 0.5mm. El programa utilizado fue el NIRS2 (4.0) de Intrasoft Internacional, Port Matilda, PA”.

Se comprobó la correlación entre altitud con el rendimiento de la cafeína, materia grasa y ácido clorogénico (Cuadro 2).

R <sup>2</sup> \ p*	Altitud	Sombra	Rend. <sup>1</sup>	Fert. <sup>2</sup>	Cafeína	Trigon <sup>3</sup>	MG <sup>4</sup>	Sacarosa	ACG <sup>5</sup>
Altitud	1	0.001	0.06	0.07	<b>0.002</b>	0.13	<b>0.01</b>	0.38	<b>0.0001</b>
Sombra	-0.39	1	0.03	0.03	0.16	0.63	0.46	<b>0.02</b>	0.19
Rend.	0.23	-0.27	1	<0.0001	0.71	<b>0.03</b>	0.08	0.37	0.35
Fert.	0.22	-0.27	0.48	1	0.3	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	0.13	0.86
Cafeína	<b>0.37</b>	0.17	0.05	-0.13	1	0.02	0.37	<b>0.003</b>	< <b>0.0001</b>
Trigon	-0.19	0.06	<b>-0.27</b>	<b>-0.30</b>	0.28	1	0.07	<b>0.01</b>	0.74
MG	<b>0.32</b>	-0.09	0.22	<b>0.29</b>	-0.11	-0.22	1	0.02	<b>0.003</b>
Sacarosa	-0.11	<b>-0.29</b>	-0.11	-0.18	<b>-0.36</b>	<b>-0.31</b>	-0.29	1	< <b>0.0001</b>
ACG	<b>0.45</b>	0.16	0.12	0.02	<b>0.49</b>	-0.04	<b>0.36</b>	<b>-0.57</b>	1

\* Coeficiente (R<sup>2</sup>) en diagonal inferior izquierda \ probabilidad diagonal superior derecha.

<sup>1</sup> Rend. = Rendimiento. <sup>2</sup>Fert. = Fertilización. <sup>3</sup> Trigon = Trigonelina. <sup>4</sup> MG = Materia Grasa, <sup>5</sup> ACG = Acido Clorogénico.

Cuadro 2. Correlaciones entre altitud, sombra, rendimiento, fertilización y compuestos químicos.

Se encontraron mayores concentraciones de cafeína en especies cultivadas a partir de los 880 msnm y se evidenciaron mayores acumulaciones de cafeína y ácidos clorogénicos en granos de café con el incremento de los niveles de sombra como se evidencia en la figura 6.

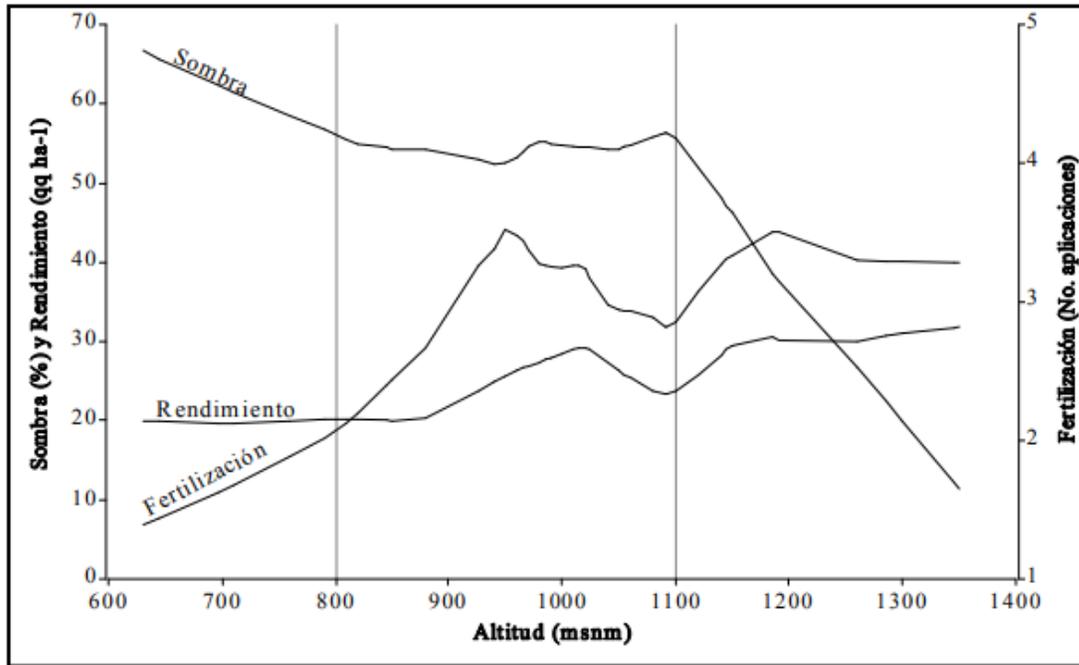


Figura 6. Dinámica de la sombra, fertilización y rendimiento del grano de café en función de la altitud en la región Norcentral de Nicaragua.

## **9. Resultados**

La variedad o especie más cultivada para exportación por sus características organolépticas, contenido de compuestos químicos específicamente, de cafeína, y resistencia a factores ambientales fue la planta Caturra, variedad de la Coffea Arábica.

En las 3 investigaciones estudiadas se realizaron pruebas cuyos resultados demostraron que los factores externos ambientales o ecológicos, la altitud, los niveles de sombra, los niveles de exposición solar, y el tipo de terreno, influyen en el rendimiento de la cafeína y de otros compuestos químicos.

Los factores que influyen en el rendimiento de los procesos de extracción son intrínsecos o relativos a las condiciones particulares de cada planta o vegetal, la especie o grupo a la que pertenecen, la parte de su estructura de la que se realiza la extracción (hojas, semillas, otra), de sus características genéticas y extrínsecos o externos a las mismas como las condiciones en las que se desarrollaron, tanto ambientales, como del suelo (en un entorno natural o artificial creado para su reproducción) y a otros como las condiciones del material utilizado para ese fin, cantidad de y tipos de solventes utilizados así como por la capacidad resolutive del laboratorio en que se realice.

## **10. Discusión**

Con los datos obtenidos se tiene evidencia de la importancia de algunos elementos ambientales importantes involucrados en el rendimiento el proceso extractivo del alcaloide y la cantidad que se extraiga.

Es razonable pensar que la influencia de varios factores externos en el proceso de extracción altere positiva o negativamente la cantidad que se obtenga del alcaloide extraído, y para que sean óptimos los resultados se requiere también de un control estricto en las etapas del método, calidad de los materiales y equipos utilizados y que las condiciones en el laboratorio sean óptimas. La hipótesis de la investigación, es por tanto, positiva, y fue comprobada por las fuentes analizadas en el desarrollo sobre los varios experimentos.

La cafeína según los 3 estudios es afectada mayormente por el área/región de procedencia, específicamente la altura de la región fue el factor que más impacto tuvo para el porcentaje de cafeína extraído de la *Coffea arabica*. Esto es razonable, y está relacionado con el término “calidad” del café, ya que se necesita una temperatura fresca para que la planta puede desarrollar sus componentes de la mejor manera y crezca mejor. Es por esto, que la cafeína se encuentra en mayor medida en alturas altas (> 1100msnm), ya que estas altitudes generan un clima más templado y adecuado para el grano de café.

Los niveles de sombra al que estuvo expuesto la *Coffea arabica*, si afectaron el porcentaje de la cafeína extraída, pero sólo significativamente en condiciones no óptimas. Esto nuevamente está relacionado con la temperatura, debido a que en alturas bajas la temperatura es mayor y el clima es menos adecuado, la sombra incrementa los componentes bioquímicos ya que las condiciones son mejores para el desarrollo de la planta, permanecen más frescos. Sin embargo, esto no afecto de manera significativa en alturas altas porque las condiciones ya eran las adecuadas. Es precisamente este factor el que

## 11. Conclusiones

Se concluye que la cantidad de alcaloides obtenidos es multifactorial, es decir, que en ese proceso extractivo todas las condiciones previas del espécimen y las dadas en el proceso (solventes orgánicos utilizados, tiempo de exposición, etc.) influyen en la cantidad o resultados cuantitativos del metabolito o metabolitos secundarios obtenidos.

La extracción y utilización de la cafeína de la *Coffea arabica* y su variedad, caturra para fines farmacológicos, es una puerta de oportunidades por la enorme cantidad que se produce para exportación a nivel de Guatemala y de muchos países de la región latinoamericana que presentan condiciones ambientales favorables para su producción. La calidad del ambiente en donde se desarrolla la *Coffea arabica* influencia de gran manera la cantidad de cafeína que se pueda extraer, siendo prioridad entonces asegurarse de que los factores sean favorables si se quiere obtener mayor rendimiento.

La altura influye significativamente en el porcentaje de cafeína extraído de la *Coffea arabica*, entre mayor es la altura (> 1100 msnm), mayor es el porcentaje extraído del grano de café. La altura es el principal factor que determina la cafeína presente en el grano de café, la efectividad de los demás factores ambientales como la sombra y el nivel de tostado del grano, van a depender en mucha medida de la altura de la región.

A pesar de los datos extraídos de las distintas investigaciones, el tema de interés todavía puede tratarse más afondo controlando más las variables del ambiente. Si bien es cierto que los factores favorables en el ambiente aumentaron el rendimiento en las tres investigaciones, las mediciones o descripciones de la temperatura o la humedad por ejemplo, no fueron lo suficientemente

precisas para elaborar una relación matemática que explique cómo cambia los contenidos de cafeína según el tipo de ambiente de manera contundente.

Esta investigación ha sido muy importante porque evidencia que la riqueza de la naturaleza puede ser utilizada para beneficio de la humanidad y que se cuenta con la metodología básica y tradicional de extracción de los alcaloides útiles en la farmacoterapia.

Las futuras áreas de investigación deben estar enfocadas en el descubrimiento de nuevas técnicas de extracción y de otros alcaloides que permitan el control y curación de las enfermedades, para la sobrevivencia de las personas y una mejor calidad de vida.

## 12. Referencias

1. Pérez-Alonso N, Jiménez E. Producción de metabolitos secundarios de plantas mediante el cultivo in vitro [Internet]. Revista.ibp.co.cu. 2011 [2020]. Disponible en:  
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/255/837>
2. S. Karuppusamy A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants by in vitro tissue, organ, and cell cultures [Internet]. India: Department of Botany, The Madura College; 2009 [2020]. Disponible en:  
<https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/EEE689215753>
3. Estimated number of different metabolites in - Plants - BNID 105634 [Internet]. Bionumbers.hms.harvard.edu. 2020 [2020]. 1-2 Disponible en:  
<https://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=105634&ver=4>
4. Rinquélet J., Viña S. Productos Naturales Vegetales Facultad De Ciencias Agrarias y Forestales - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2013. E-Book.  
Disponible en:  
[https://www.academia.edu/27758820/Productos\\_Naturales\\_Vegetales\\_FACULTAD\\_DE\\_CIENCIAS\\_AGRARIAS\\_Y\\_FORESTALES\\_Libros\\_de\\_C%C3%A1tedra](https://www.academia.edu/27758820/Productos_Naturales_Vegetales_FACULTAD_DE_CIENCIAS_AGRARIAS_Y_FORESTALES_Libros_de_C%C3%A1tedra)
5. García, A., & Pérez, E. Metabolismo secundario de plantas [E-book]. Madrid. 2009 [2020]  
Disponible en: [https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo\\_secundario\\_de\\_plantas.pdf](https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo_secundario_de_plantas.pdf)

6. Ávalos García, A., Pérez-Urria Carril. E. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal. 2 (3): 119-145, 2009 ISSN: 1989-3620 Disponible en:  
[https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo\\_secundario\\_de\\_plantas.pdf](https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo_secundario_de_plantas.pdf)
  
7. Rivas Cacsire, V.D. Extracción de alcaloides a partir de la corteza y hojas de la guanábana Tesis Pregrado, 2006. Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Química Disponible en:  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC\\_3dafd2e30fda1d86832a88cbb5b3e2f8](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_3dafd2e30fda1d86832a88cbb5b3e2f8)
  
8. Escoto García G. et al. Evaluación del Rendimiento de Extractos en Hojas de Ricinus communis L. Conciencia Tecnológica, núm. 52, 2016 Instituto Tecnológico de Aguascalientes Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94451204003/html/index.html>
  
9. Mauricio A. Sierra Sarmiento, Ramón Barros, Diomedes Gómez, Adrian Mejía, Deivis Suarez. Productos naturales: metabolitos secundarios y aceites esenciales. [internet]. 2018 [citado 2020] 7-14 Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/329197168\\_PRODUCTOS\\_NATURALES\\_METABOLITOS\\_SECUNDARIOS\\_Y\\_ACEITES\\_ESENCIALES](https://www.researchgate.net/publication/329197168_PRODUCTOS_NATURALES_METABOLITOS_SECUNDARIOS_Y_ACEITES_ESENCIALES)
  
10. Palacios Palacios M. Curso: farmacognosia y fitoquímica. Universidad catolica “los ángeles de chimbote” curso: farmacognosia y fitoquímica escuela de farmacia y bioquímica. Disponible en:

[http://files.uladech.edu.pe/docente/32924394/Farmacognosia\\_y\\_Fitoquimica/Sesion\\_14/TEMA\\_14.pdf](http://files.uladech.edu.pe/docente/32924394/Farmacognosia_y_Fitoquimica/Sesion_14/TEMA_14.pdf)

11. Calixto O. R., Domínguez D. J., Hurtado M. A., Méndez C. J., Salazar A. K. Drogas con alcaloides. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Práctica No.1. 2014 pp.9 Disponible en:

[https://www.academia.edu/8407772/1\\_DROGAS\\_CON\\_ALCALOIDES](https://www.academia.edu/8407772/1_DROGAS_CON_ALCALOIDES)

12. Rojas A, L., Jaramillo J, C., Lemus B, M. Métodos Analíticos para la Determinación de Metabolitos Secundarios de Plantas. Universidad Técnica de Machala, Ecuador [Internet]

Primera Edición 2015 pp.108 Disponible en:

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6653>

13. Moncada Cares, J.F., Determinación de cafeína en café de grano comercial. Tesis.

Universidad Técnica Federiccas 2018 pp.117o Santa María Disponible en:

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/45952/3560901543844UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

14. Pardo Lozano R., Cafeína: un nutriente, un fármaco, o una droga de abuso. Sociedad Científica Española de Estudios sobre el Alcohol, el Alcoholismo y las otras Toxicomanías vol. 19, núm. 3, 2007, pp. 225-238 Palma de Mallorca, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2891/289122084002.pdf>

15. Rojo Jiménez, Elena. Café I (G. Coffea) Reduca (Biología). Serie Botánica. 7 (2): 113-132, Madrid 2014. ISSN: 1989-3620

Disponible en:

<https://pdfs.semanticscholar.org/f99d/5d12fd2e9a9b3d8cc0ed088b06f1f39cdb30.pdf>

16. Carballo R A.D. Extracción de cafeína a partir de café venezolano utilizando el proceso de extracción por: microondas (EM) y ultrasonido (EU). Universidad Central de Venezuela. Caracas 2018 pp.117

Disponible en:

<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/15251/1/TRABAJO%20ESPECIAL%20DE%20GRADO%20II%20Aura%20Carballo.pdf>

17. Evaluación de la actividad antioxidante y detección de marcadores químicos en extractos de hojas y granos de siete variedades de café comercializadas en Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. Pp. 73

Disponible en:

<https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puicb/INF-2018-12.pdf>

18. Lazcano-Sánchez, E., Trejo-Márquez, Ma. A., Vargas-Martínez, Ma. G., Pascual-Bustamante, S. Contenido de fenoles, cafeína y capacidad antioxidante de granos de café verdes y tostados de diferentes estados de México. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha México 2015 Vol 16(2):293-298

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176021>

19. Lara Estrada L.D., Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (coffea arabica l. var. caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de nicaragua. Tesis Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, Costa Rica Noviembre, 2005 pp 107

Disponible en:

[https://www.academia.edu/2243536/EFFECTOS\\_DE\\_LA\\_ALTITUD\\_SOMBRA\\_PRODUCION\\_Y\\_FERTILIZACION\\_SOBRE\\_LA\\_CALIDAD\\_DEL\\_CAF%3%89\\_Coffea\\_arabica\\_L\\_var\\_Caturra\\_PRODUCIDO\\_EN\\_SISTEMAS\\_AGROFORESTALES\\_DE\\_LA\\_ZONA\\_CAFETALERA\\_NORCENTRAL\\_DE\\_NICARAGUA](https://www.academia.edu/2243536/EFFECTOS_DE_LA_ALTITUD_SOMBRA_PRODUCION_Y_FERTILIZACION_SOBRE_LA_CALIDAD_DEL_CAF%3%89_Coffea_arabica_L_var_Caturra_PRODUCIDO_EN_SISTEMAS_AGROFORESTALES_DE_LA_ZONA_CAFETALERA_NORCENTRAL_DE_NICARAGUA)

**Otra bibliografía consultada:**

- Tapia, L, Palomino M.A., Lucero Y., Valenzuela R. REV. MED. CLIN. CONDES - 2019; 30(1) 29-35
- Twilley D.; Langhansová L.; Palaniswamy D.; Lall N. Evaluation of traditionally used medicinal plants for anticancer, antioxidant, anti-inflammatory and anti-viral (HPV-1) activitySouth African Journal of Botany, ISSN: 0254-6299, Vol: 112, Page: 494-500

Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0254629917300455?token=147794F3B9C80356ABA50ABDF72ABF2AD1754F565275320FE94FF2DE1434662ADE04ED3CAE3567FCBFFB4611B6CBB372>

- Kozan H.I. I. International congress on medicinal and aromatic plants: “natural and healthy life” proceedings book January 2018 Necmettin Erbakan University pp15,111 Isbn: 978-605-4988-26-6

Disponibile en:

[https://www.researchgate.net/publication/322420166\\_I\\_INTERNATIONAL\\_CONGRESS\\_on\\_MEDICINAL\\_and\\_AROMATIC\\_PLANTS\\_NATURAL\\_and\\_HEALTHY\\_LIFE\\_PROCEEDINGS\\_BOOK](https://www.researchgate.net/publication/322420166_I_INTERNATIONAL_CONGRESS_on_MEDICINAL_and_AROMATIC_PLANTS_NATURAL_and_HEALTHY_LIFE_PROCEEDINGS_BOOK)

- Gómez P. Productos naturales: metabolitos secundarios y aceites esenciales. ENTRE LIBROS-e-book solution NIT 9000557319-1, 2018

Disponibile en:

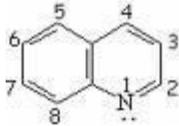
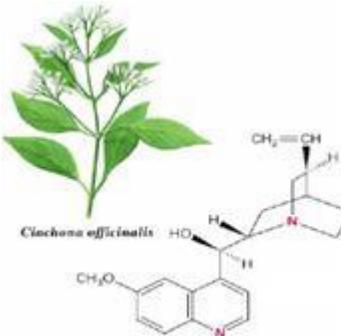
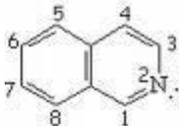
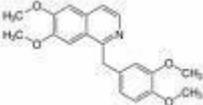
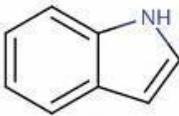
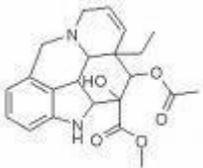
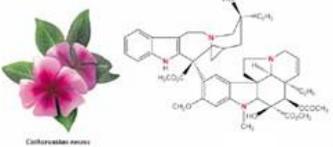
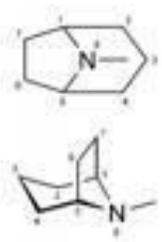
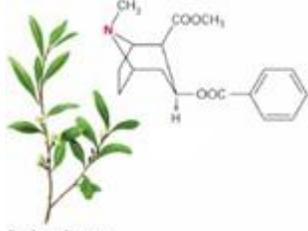
[https://www.researchgate.net/publication/329197168\\_PRODUCTOS\\_NATURALES\\_METABOLITOS\\_SECUNDARIOS\\_Y\\_ACEITES\\_ESENCIALES](https://www.researchgate.net/publication/329197168_PRODUCTOS_NATURALES_METABOLITOS_SECUNDARIOS_Y_ACEITES_ESENCIALES)

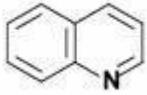
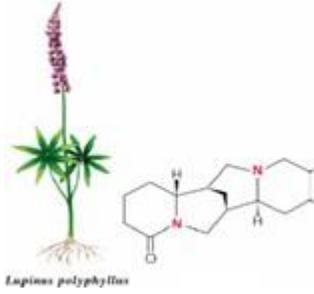
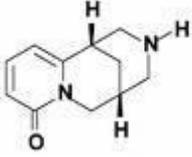
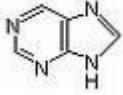
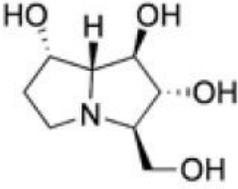
- Sitio Web ECURED [Internet]

Disponibile en: <https://www.ecured.cu/Alcaloide>

### 13. Anexos

#### ANEXO 1. Clases de Alcaloides y ejemplos <sup>6</sup>

Clase de alcaloide	Ejemplos	
<p>Quinolina</p> 	<p>Quinina</p> 	
<p>Isoquinolina</p> 	<p>Papaverina</p> 	<p>Morfina Codeína</p>
<p>Indol</p> 	<p>Vindolina</p> 	<p>Vinblastina</p> 
✓		
<p>Tropano</p> 	<p>Atropina</p> 	<p>Cocaína</p> 

<p>Quinolizidina</p> 	<p>Lupanina</p>  <p><i>Lupinus polyphyllus</i></p>	<p>Citisina</p> 
<p>Piperidina</p> 	<p>Nicotina</p>  <p><i>Nicotiana tabacum</i></p>	<p>Coniina</p>  <p>Coniine</p>
<p>Purina</p> 	<p>Cafeína</p>  <p><i>Coffea arabica</i></p>	
<p>Pirrolizideno</p> 	<p>Senecionina</p>	

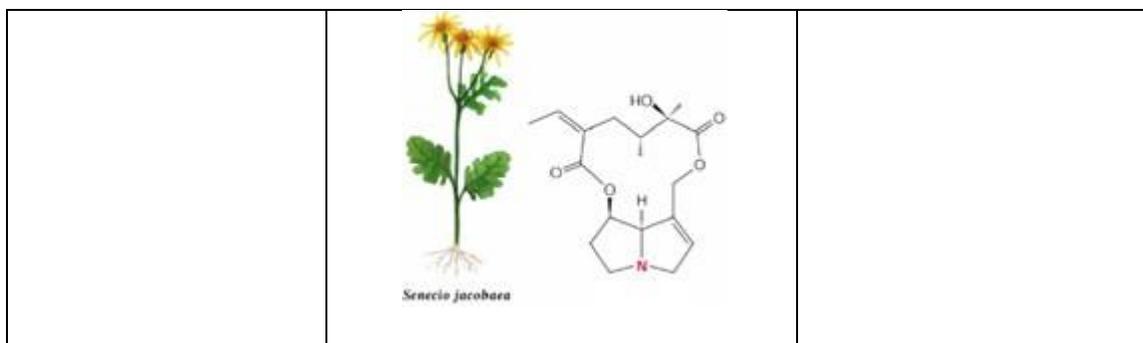


Tabla 2. Aplicaciones de algunos alcaloides <sup>6</sup>

Alcaloide	Planta	Uso
Ajmalina	Rauwolfia serpentina	Antiarrítmico, inhibidor captura de glucosa por la mitocondria del tejido cardiaco
Atropina	Hyoscyamus niger	Anticolinérgico, antídoto del gas nervioso
Cafeína	Coffea arabica	Estimulante del sistema nervioso central
Camptotecina	Camptotheca acuminata	Agente anticanceroso
Cocaína	Erythroxylon coca	Anestésico tópico, estimulante del sistema nervioso central, bloqueante adrenérgico, droga de abuso
Codeína	Papaver somniferum	Analgésico y antitusivo
Coniína	Conium maculatum	Parálisis del sistema nervioso motor
Emetina	Uragoga ipecacuanha	Emético
Morfina	Papaver somniferum	Analgésico, narcótico, droga de abuso
Nicotina	Nicotiana tabacum	Tóxico, insecticida en horticultura, droga de abuso
Pilocarpina	Pilocarpus jaborandi	Estimulante del sistema parasimpático

Quinina	Cinchona officinalis	Tratamiento de la malaria
Sanguinarina	Eschscholzia californica	Antibacteriano (dentífricos)
Escopolamina	Hyoscyamus niger	Narcótico, sedante
Estricnina	Strychnos nuxvomica	Veneno
Vinblastina	Catharanthus roseus	Antineoplásico