

CAPÍTULO I. ARCILLAS

Las arcillas son minerales naturales que están compuestas de múltiples silicoaluminatos hidratados que contienen iones tales como K, Fe, Mg y Na, y otros minerales no arcillosos como feldespatos, cuarzo, anatasa, rutilo, hematita, carbonatos, entre otros; ya que se encuentran en la naturaleza generalmente están acompañadas por materia orgánica (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002; Muñoz Meneses et al., 2007).

Las arcillas hacen parte del grupo de los filosilicatos, cuya estructura está dada en forma de láminas apiladas; estas láminas están formadas por unidades tetraedros de silicio [SiO₄] y octaedros de aluminio [AlO₆]. Dependiendo de las combinaciones que puedan formar las láminas se generan los diferentes grupos de arcillas, que se caracterizan por su forma, estructura, apilamiento de capas, geometría y por la simetría en su red cristalina (Bernal, Cabezas, Espitia, Mojica, & Quintero, 2003; Muñoz Meneses et al., 2007).

El aspecto que tienen las arcillas en la naturaleza es en forma de terrones, que se componen de gránulos finos cuyo diámetro es aproximadamente menor a 2 µm (da Silva Favero et al., 2016; Mattioli, Giardini, Roselli, & Desideri, 2016). Cuando se humedecen exhiben plasticidad como resultado de su naturaleza hidrofílica, al secarse se colocan rígidas pero frágiles y al someterse bajo la acción de calor se hacen pétreas (da Silva Favero et al., 2016); por esta razón, desde los comienzos de la humanidad se le han dado uso a las arcillas en la fabricación de alfarería tradicional, materiales para la construcción como tejas, ladrillos, tubos, baldosas, entre otros (Abajo, 2000; Avgustinik, 1983; Barba et al., 2002).

El uso de una arcilla particular para cualquier aplicación específica depende de la composición mineralógica, estructura del mineral y su composición química (Mattioli et al., 2016), por ende, su valor estará determinado por el grado o cantidad de impurezas que contengan. Entre estas impurezas se encuentran fragmentos de roca, cuarzo, mica, feldespato, óxido de hierro, carbonatos, minerales de titanio, yeso, materia orgánica y otros (Muñoz Meneses et al., 2007). Los constituyentes mayoritarios en las arcillas influyen directamente sobre las propiedades que resultaran en los materiales, pero se debe tener en cuenta que los componentes minoritarios pueden tener un efecto importante sobre estas propiedades; las impurezas afectan las características y propiedades de las arcillas; por ejemplo, el cuarzo disminuye la plasticidad, la alúmina hace que la arcilla sea refractaria y el óxido de hierro es un agente colorante poderoso (Bernal et al., 2003; Muñoz Meneses et al., 2007).

En las arcillas se encuentran otros constituyentes nocivos como son la pirita (FeS₂) y el yeso (CaSO₄.2H₂O), debido a que son fundentes energéticos durante la cocción a elevadas temperaturas (1200 °C-1300 °C), y las sales solubles como sulfatos y cloruros; los sulfatos forman sales solubles que se depositan sobre los productos de arcilla secos

desmejorando el aspecto de estos. Las fases orgánicas presentes en las arcillas influyen en las propiedades técnicas de las mismas, contribuyendo al aumento de la capacidad higroscópica en la arcilla y al incremento de la plasticidad y cohesión; por otra parte, la presencia de carbono (fase orgánica) en las arcillas origina durante la cocción un medio reductor local que influye en la transición del Fe^{3+} al Fe^{2+} , que a su vez, favorece una rápida sinterización de esta materia prima (Avgustinik, 1983).

1 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS

Debido a su gran variedad las arcillas tienen diversas maneras de clasificarse, a continuación, se enuncian según sus propiedades características.

1.1 Clasificación geológica

En esta clasificación están principalmente las arcillas residuales, las coluviales y las transportadas o sedimentarias. **Las arcillas residuales** han sido formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido por tanto transportadas por el agua, el viento o el glaciar. **Las arcillas coluviales** son acumuladas por el lavado de arcillas residuales, pueden ser refractarias y no refractarias, y **las arcillas transportadas o sedimentarias** son aquellas que han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales (Abajo, 2000; Barba et al., 2002).

1.2 Clasificación mineralógica

Es la clasificación más importante desde el punto de vista cerámico (Abajo, 2000; Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002). En esta clasificación se encuentran las arcillas caoliniticas, las montmorilloniticas y las illiticas. **Las arcillas caolíniticas** se forman por lo general de rocas silicoaluminosas, principalmente feldespáticas por acción de los agentes atmosféricos como agua y el anhídrido carbónico del aire. Su composición química es aproximadamente: 46.5 % de SiO_2 , 39,6 % de Al_2O_3 y el 13,9 % de H_2O . Se caracterizan por la menor capacidad de absorción de agua. El caolín es la arcilla y la caolinita el silicato aluminio hidratado. **Las arcillas montmorilloniticas** se caracterizan por la presencia de complejos silicatos aluminicos y sílice, son de color ocre o rojo y muy plásticos, por lo que absorben grandes cantidades de agua, caracterizados por su aumento de volumen encuentra elementos residuales en forma de hidróxidos de aluminio y hierro. Su composición química es: SiO_2 : 48 – 56 %, Al_2O_3 : 11 – 22 %, MgO : 0.3 - 0.8 %, H_2O : 12 – 14 %. **Las arcillas illiticas** se componen principalmente de: SiO_2 : 55 %, Al_2O_3 : 27-29 %, H_2O : 0.8-0.9 %, K_2O : 0.2-0.8 %; y se caracterizan por ser potásicas. El índice de plasticidad de los minerales de esta familia es menor que el de las montmorillonitas, pero su plasticidad aumenta a medida que disminuye el tamaño del grano; la presencia de potasio en la estructura de la illita le genera cierto poder fundente en el proceso cerámico.

1.3 Clasificación según propiedades

Los caolines o china cáliz son arcillas que cuecen de color blanco o crema, cuya composición se aproxima a la de la caolinita. En este grupo están las arcillas de color blanco en cocido que existen tres tipos: **Ball clays** las cuales son altamente plásticas y fácilmente dispersables en el agua, su color suele ser oscuro; **Fire clays** son arcillas refractarias que se presentan en masas compactas y **Flint clays** que son arcillas duras, masivas, densas y no plásticas. El otro grupo son las arcillas de color rojo en cocido, existen dos tipos de este tipo de arcillas: **las arcillas refractarias** se caracterizan por el comportamiento refractario durante la cocción y **las arcillas fundentes**, su principal característica es su comportamiento fundente y se clasifican en arcillas con alto, medio y bajo contenido de carbonatos (Abajo, 2000; Barba et al., 2002; Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002).

2 ARCILLAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

La industria cerámica en Norte de Santander está concentrada en el Área Metropolitana de Cúcuta, cuyos depósitos de minerales arcillosos son extensos (Prato Cruz, 2007). En la actualidad estas son utilizadas para la producción de materiales de construcción como ladrillo, teja, tableta, cerámica para piso y paredes, cementos, etc.; prueba de lo anterior, es la presencia de empresas privadas importantes como: Cerámica Italia, Cerámica Andina, Ladrillera Casablanca entre otras, dedicadas a la explotación, producción y comercialización de productos cuya materia prima es la arcilla (Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013; Sánchez Molina, 2007).

Las arcillas que principalmente son utilizadas por el sector cerámico del Área Metropolitana de Cúcuta, son las que pertenecen a las formaciones Guayabo, León y Carbonera (Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013). Una formación geológica es un conjunto de rocas que se caracterizan por poseer propiedades litológicas comunes como la composición y la estructura. A continuación, se describen las principales características de estas formaciones.

2.1 Formación Guayabo (Tmg)

Esta consiste, en general en arenas friables de color pardo a gris claro, limolitas arcillolitas, y arcillas arenosas grises con algunos horizontes de arcillas verdes y abigarradas; reposa concordantemente sobre la formación León y el límite entre ambas se coloca donde subyacen las arcillas pizarrosas de la formación León. La formación tiene un promedio de 800 m de espesor, pero al sureste de Cúcuta se han encontrado espesores hasta de 2640 m. La edad es principalmente Mioceno pero posiblemente se

extiende hasta el Plioceno, dependiendo de cuando empezó el plegamiento Andino que no se ha fijado en esta área (Ingeominas, n.d.).

2.2 Formación León (Tol)

Está compuesta casi en su totalidad de arcillas pizarrosas de color gris a gris verdoso que presentan horizontes limolíticos hacia la parte baja y alta de la misma; el contacto inferior de la formación es normal y se marca donde ocurre el cambio de las arcillas pizarrosas puras de esta formación a los sedimentos más arenosos de la formación Carbonera. El espesor tiene un promedio de 545 m, pero más al norte se han observado espesores mayores, en donde la formación se vuelve más arenosa. La formación es de edad Oligoceno (Ingeominas, n.d.).

2.3 Formación Carbonera (Tec)

Consta de una serie de arcillolitas intercaladas con areniscas y algunos mantos de carbón en la parte inferior y en el tope de la formación. Las arcillas son de color gris, comúnmente abigarradas y sideríticas; en la parte inferior y superior de la formación hay algunas arcillas pizarrosas de color gris oscuro. Las areniscas son de color gris verdoso de grano fino a grueso y algo arcillosas; en las partes inferior y superior estas areniscas son localmente glauconíticas, en estos mismos intervalos hay pequeñas capas de caliza. La formación carbonera reposa concordantemente sobre la formación Mirador y el límite está marcado por la presencia de las primeras areniscas de grano grueso de la formación Mirador. El espesor promedio es de 500 m y la edad de la formación va desde el Eoceno Superior al Oligoceno Inferior (Ingeominas, n.d.).

2.4 Materiales arcillosos empleados

Las muestras que se estudiaron se escogieron teniendo en cuenta el mapa geológico del Cuadrángulo G-13 de Cúcuta que se muestra en la Figura 1, el cual representa la estratigrafía de Cúcuta y sus alrededores (Ingeominas, 1998). Para la ejecución de la investigación se tomó una muestra de la Formación Guayabo, Formación León y Formación Carbonera por ser las formaciones más representativas del Sector Cerámico del Área Metropolitana de Cúcuta, en la Figura 2 se muestra el área de muestreo (Wikipedia Commons, 2014).

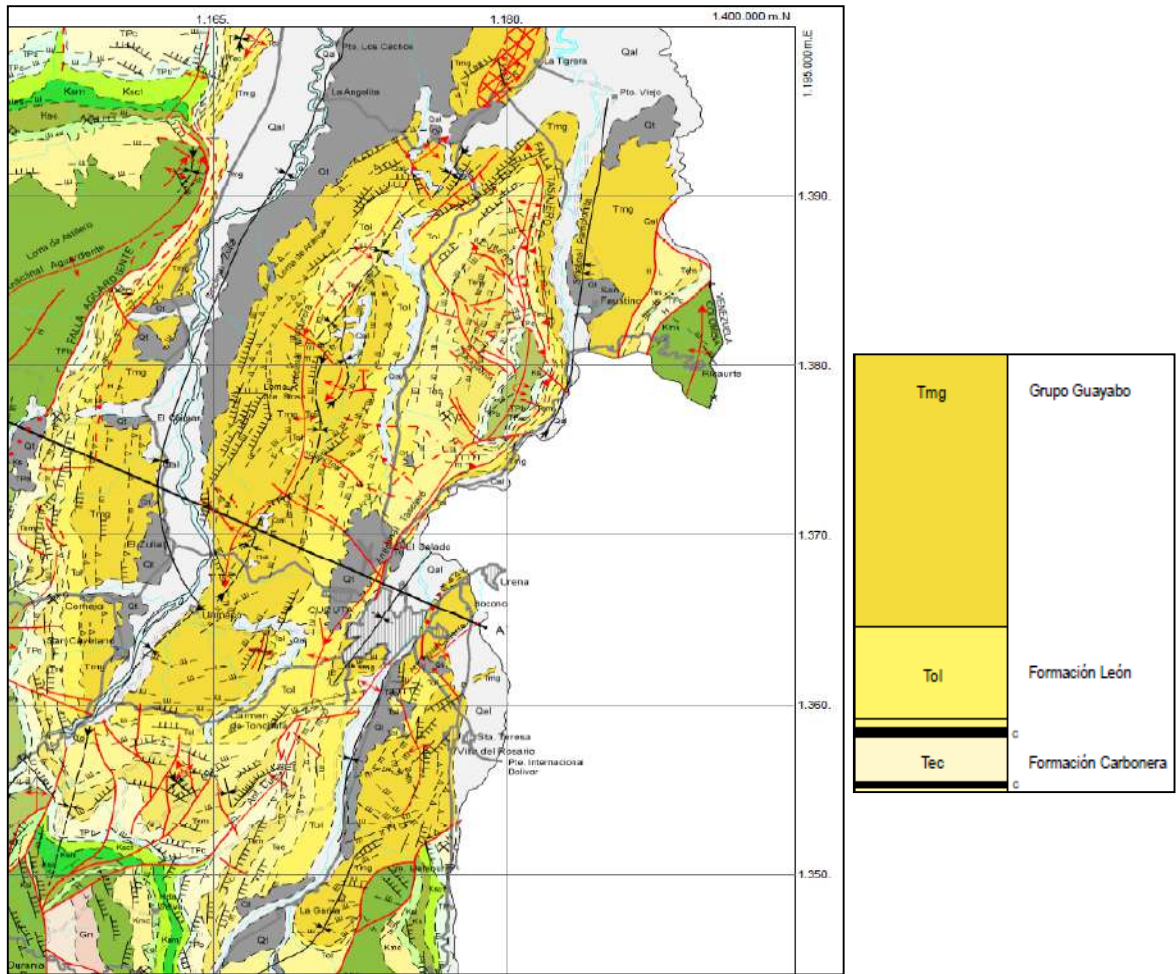


Figura 1. Geología del Cuadrángulo G-13 Cúcuta
Fuente: Ingeominas, 1998.



Figura 2. Área de muestreo

Fuente: Wikipedia Commons, 2014.

3 APLICACIONES DE LAS ARCILLAS

En su mayoría las arcillas en Colombia se destinan para la fabricación de productos cerámicos usados en la industria de la construcción (Muñoz Meneses et al., 2007; Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2003), cuyo proceso cerámico se compone principalmente de tres fases: preparación de la pasta cerámica, moldeo de la pieza y cocción. En la primera fase del proceso se modifica la composición y la plasticidad de la arcilla con el fin de obtener una pasta cerámica homogénea, luego se moldea según la forma deseada, presión o extrusión. Una vez, se ha obtenido la pieza moldeada se procede al secado controlando la velocidad de evaporación de agua con el fin de evitar defectos en la pieza. Posteriormente, la pieza se sinteriza, es decir, se somete al proceso de cocción con el fin disminuir la porosidad, aumentar la densidad y la resistencia mecánica (Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013).

No sólo en Colombia se utilizan y se siguen estudiando los minerales arcillosos en el sector de la cerámica tradicional, sino también en el resto del mundo (Costa, 2014; Fadil-Djenabou, Ndjigui, & Mbey, 2015; Mahmoudi, Bennour, Meguebli, Srasra, & Zargouni, 2016); así mismo las arcillas tienen múltiples aplicaciones tales como: recubrimientos de soportes de acero, con el fin aumentar la capacidad de resistencia al fuego (Bodzay, Bocz, Barkai, & Marosi, 2011), en las industrias aeroespacial y automotriz cada vez más se utilizan componentes cerámicos, debido a su alta resistencia al calor y la dureza del

material (Leu et al., 2012); en las industrias cementeras se utilizan materiales puzolánicos como el metacaolín con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad del mortero y del concreto (Siddique & Klaus, 2009). Los materiales cerámicos porosos se utilizan ampliamente como filtros, aislantes térmicos, absorbentes, soportes de catalizadores, etc., en diferentes campos de la ingeniería; las arcillas también se utilizan como materiales de revestimiento en el sistema de administración de fármacos, agentes de entrega de productos agroquímicos, materiales catalíticos y desempeñan un papel fundamental en los procesos biogeoquímicos mediante la retención o la liberación de nutrientes metálicos en el suelo (Kokunešoski et al., 2014).

Otra aplicación importante de las arcillas es en el campo de la cosmética, su uso depende de la composición mineralógica y química que presenten, esto se debe a que las arcillas contienen minerales que tienen una función importante en la piel, como el silicio que proporciona la posibilidad de reconstrucción de tejidos de la piel, hidratación y un efecto calmante, el hierro como antiséptico y como un catalizador de renovación celular, el zinc y el magnesio que son vigorizantes, el calcio y el potasio actúan sobre la circulación y la renovación de los tejidos, y titanio que es empleado en formulaciones para la protección de radiación UV (da Silva Favero et al., 2016).

Por otra parte, estos materiales también están siendo utilizados para solucionar una de las mayores preocupaciones de la humanidad como lo es la alta contaminación ambiental, los contaminantes orgánicos suelen persistir en el suelo y tienden a bioacumularse, lo que coloca en riesgo la fauna, la flora y a los seres humanos. Los contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), los cuales provienen principalmente de la combustión de productos derivados del petróleo, precursores del plástico, disolventes industriales y algunos plaguicidas; pueden ser removidos mediante la técnica de biorremediación haciendo uso de matrices de arcilla o minerales de arcilla y microorganismos, las arcillas previamente deben ser modificadas con el fin de mejorar sus propiedades físico-químicas tales como el área de superficie específica, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de adsorción. Se han realizado diferentes estudios para evaluar la eficacia en la adsorción y la interacción microbiana en la biodegradación de suelos contaminados con PAHs y VOCs utilizando este tipo de matrices (Biswas, Sarkar, Rusmin, & Naidu, 2015). La producción de organoarcillas se generan por la modificación de la superficie y el espacio interlamina de las arcilla intercalando cationes orgánicos (Zhou, Zhao, Wang, Chen, & He, 2016), y son ampliamente utilizadas en la remediación de suelos agrícolas contaminados por plaguicidas y herbicidas (Gámiz, Celis, Cornejo, & Hermosín, 2012); los espacios interlaminares de las arcillas también pueden actuar como nanoreactores confinados, ya que se producen reacciones in situ lo que origina procesos de nucleación, crecimiento o agrupación de nanopartículas (Zhou et al., 2016).

La posibilidad de realizar intercalación de iones en las láminas de las arcillas ha permitido que se generen adsorbentes y catalizadores de uso medioambiental, y el comienzo de la catálisis verde sostenible; estos materiales tienen propiedades eléctricas, ópticas, fotónicas y magnéticas, lo que permiten que sean selectivos en la eliminación de colorantes en aguas residuales (Gil, Korili, Trujillano, & Vicente, 2011). También se pueden emplear como soportes sólidos biocompatibles para inmovilizar enzimas, estos híbridos arcilla-enzima son de gran potencial en la biocatálisis y biosensores (Zhou et al., 2016).

Es importante mencionar que existe una creciente demanda de tecnologías que permitan reciclar los materiales de arcilla utilizados e implementarlos en nuevos procesos, con el fin de contribuir al medio ambiente y la sostenibilidad (Zhang, 2013). Los geopolímeros se consideran un material verde porque son construidos con residuos industriales de algunos minerales de arcillas (Zhou et al., 2016); el caolín se utiliza para producir nano-caolín con el fin de mejorar la síntesis de los geopolímeros (Hassaan, Khater, El-Mahllawy, & El Nagar, 2015).

El efecto piezoeléctrico ha sido utilizado ampliamente para aplicaciones de sensores. En los últimos años los compuestos de cerámica-polímero han sido investigados, ya que estas matrices presentan excelentes propiedades piroeléctricas y piezoeléctricas permitiendo obtener materiales flexibles, fácil procesamiento, alta permitividad eléctrica y rigidez dieléctrica, estas propiedades no se pueden alcanzar en un material piezoeléctrico de una sola fase (Jain, K. J., Sharma, Jain, & P.N, 2015).

Debido a sus múltiples aplicaciones, estos materiales están siendo estudiados ampliamente, y un ejemplo es China, una de las economías emergentes del mundo (Albors & J. L. Hervás, 2006), donde las investigaciones han aumentado, ya que requieren tener mayor conocimiento en los materiales que utilizan, buscar nuevas aplicaciones e innovar sus productos dando valor agregado. El caso de los minerales arcillosos no es ajeno a esta situación, actualmente estas investigaciones apuntan a que las arcillas modificadas y los minerales de alta pureza, son indispensables para obtener nanocompuestos funcionales de minerales de arcillas-polímeros, adsorbentes, catalizadores y biomateriales (Zhou et al., 2016).

Tal como se indica anteriormente, los minerales arcillosos tienen amplias aplicaciones en diferentes áreas tecnológicas; pero las arcillas que se explotan en el área metropolitana de Cúcuta se utilizan sólo para la fabricación de materiales de construcción, porque no se conocen completamente sus propiedades y, por ende, no se tiene información suficiente para mejorar o innovar los productos elaborados. Por lo general, los materiales fabricados son baldosas esmaltadas y no esmaltadas, tejas de diferentes tipos y unidades de mampostería, principalmente; otros productos son cenefas y rosetones (Prato Cruz, 2007; Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013).

Los materiales arcillosos se pueden caracterizar de forma física, química, térmica, mineralógica y tecnológicamente con el fin de conocer las características y propiedades de las arcillas (Abajo, 2000; Asociación técnicos cerámicos SACMI IMOLA, 1990)

4 CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS

La caracterización de arcillas física, química, térmica y mineralógica ha sido estudiada en muchos países, estos estudios se han realizado con muestras propias de las regiones (Deliniere, Aubert, Rojat, & Gasc-Barbier, 2014; El-Mahllawy & Kandeel, 2014; Fadil-Djenabou et al., 2015; Igea, Pérez-Arantegui, Lapuente, Saiz, & Burillo, 2013; Mahmoudi et al., 2016; Zanelli et al., 2015). Mediante estos estudios se han podido conocer las características y propiedades de estos materiales, lo cual ha servido de base para optimizar los procesos de fabricación de productos cerámicos, agregar valor a los mismos y establecer diferentes usos de las arcillas en el campo de los cerámicos avanzados, farmacéuticos, cosméticos, etc. (Dondi, Raimondo, & Zanelli, 2014; Eloussaief, Kallel, Yaacoubi, & Benzina, 2011; Escoda, Lledó, Suñol, Roura, & Carda, 2003; Mahmoudi et al., 2016; Mattioli et al., 2016; Ogundiran & Kumar, 2015). Esto ha permitido que estos países sean líderes hoy en día de las industrias cerámicas más importantes del mundo, las cuales tienen el componente innovador y por tanto, son lo suficientemente competitivas para mantenerse en los mercados actuales e incursionar en otros a nivel internacional (Albors & J. L. Hervás, 2006).

A nivel nacional, se han realizado algunas investigaciones sobre la caracterización de las arcillas en diferentes regiones del país, como es Santander, Antioquia y la Costa Pacífica, con el componente de preparación de pastas cerámicas para aplicación de un producto cerámico de la construcción con mejores propiedades mecánicas. En estos estudios no se ve reflejado la búsqueda de otros usos para estos materiales (Afanador, Carolina, Jaime, Alberto, & Durán, 2013; Duitama, Espitia, Mojica, Quintero, & Romero, 2004; Muñoz Meneses et al., 2007; Santos Amado, Malagón Villafrades, & Córdoba Tuta, 2011).

A nivel regional se han realizado muchos estudios sobre la caracterización físico-cerámica de las arcillas del área metropolitana de Cúcuta, pero hasta el momento los estudios publicados con respecto a la caracterización desde el punto de vista químico, térmico y mineralógico son pocos, aislados y los resultados no se han relacionado con la caracterización físico-cerámica, y por ende, no se han determinado los posibles usos de las arcillas de la región (Afanador et al., 2013; Balaguera & Carvajal, 2004; Leonardo Cely Illera, 2014; Céspedes Sánchez & Rodríguez Téllez, 2003; Cruz Rodríguez & Bonilla Jaimes, 2004; Garcia Valderrama & Figueroa Rojas, 2000; Montañez Oviedo & Tarazona Omaña, 2000; Mora Carvajal & Monroy Sepúlveda, 2005; Sánchez Molina, Orozco Cacique, & Peñaloza Isidro, 2014).