

Colorimetria de argilas modificadas com adições minerais e orgânicas

W. Martínez^{1,2,*}, A. A. Torres-Acosta^{3,4}, E. M. Alonso-Guzmán^{1,2,5}, H. L. Chávez^{1,6}, C. Lara¹, A. Bedolla⁵, H. Z. López⁷, J. L. Ruvalcaba⁸

* Autor de Contato: wilfridomartinezmolina@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.277>

Recepção: 24/10/2017 | Aceitação: 21/03/2018 | Publicação: 30/04/2018

RESUMO

O objetivo é quantificar os valores das diferentes cores obtidas em argilas com adições. Explora-se a apreciação estética de diferentes adições e porcentagens de argilas do Banco Santiago Undameo, no México. As adições são gesso, lima, mucilagem de cítrica de opuntia, cimento portland e hidróxido de sódio; os percentuais em peso da argila são 2, 4, 6, 8 e 10%; os melhores comportamentos colorimétricos foram obtidos a partir de cimento portland a 6%, hidróxido de sódio a 4%, lima e gesso a 8% e mucilagem de branco opuntia cactus com porcentagem de 4% e 8%. Alguns edifícios onde esses materiais de argila foram utilizados são: Casas grandes en Paquimé, Chihuahua, La Venta en Tabasco, Yácatas en Tzintzuntzan, entre outros.

Palavras-chave: argila; colorimetria; adições; restauração.

Citar como: W. Martínez, A. A. Torres-Acosta, E. M. Alonso-Guzmán, H. L. Chávez, C. Lara, A. Bedolla, H. Z. López, J. L. Ruvalcaba (2018), “*Colorimetria de argilas modificadas com adições minerais e orgânicas*”, Revista ALCONPAT, 8 (2), pp. 163 - 177, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.277>

¹Departamento de Materiales, FIC-UMSNH, Morelia, Michoacán, México, 58040

²Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, FIC-UMSNH, Morelia, Michoacán, México, 58040

³UMQ, Santiago de Querétaro, Querétaro, México, 76000

⁴IMT-SCT, Sanfadila, Querétaro, México, 76000

⁵Farq-UMSNH, Morelia, Michoacán, México, 58040

⁶Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, FIC-UMSNH, Morelia, Michoacán, México, 58040

⁷Farq-UABJO, Oaxaca, Oaxaca, México, 68000

⁸Laboratorio LANCIC, IF-UNAM, Ciudad de México, México 04510

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2019, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2018.

Colorimetry of modified clays with mineral and organic additions.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to quantify the colorimetric values of different clays with some additions. Exploring the aesthetic appreciation, based on the clay color, of different additions percentages (by clay mass) with Santiago Undameo Bank, Mexico, clays as main matrix. Clay was kaolinite and the additions were gypsum, lime, opuntia cactus mucilage, portland cement, and sodium hydroxide. The addition percentages were 2%, 4%, 6%, 8% and 10%. The best colorimetric performances were obtained from Portland cement at 6%, sodium hydroxide at 4%, lime and gypsum at 8% and opuntia cactus mucilage at 4% and 8%. Some buildings where these clay materials were used are: Casas grandes en Paquimé, Chihuahua, La Venta en Tabasco, Yácatas en Tzintzuntzan, among others.

Keywords: clay; colorimetry; additions; restoration.

Colorimetría de arcillas modificadas con adiciones minerales y orgánicas

RESUMEN

El objetivo es cuantificar los valores de los diferentes colores obtenidos en arcillas con adiciones, comparados contra una arcilla base. Se explora la apreciación estética, en base al color de las arcillas con diferentes adiciones usando arcilla del Banco Santiago Undameo, México. Las adiciones son yeso, cal, mucílago de cactus opuntia, cemento portland e hidróxido de sodio. Los porcentajes en peso fueron 2, 4, 6, 8 y 10%. Los mejores comportamientos colorimétricos fueron los resultados obtenidos del cemento portland al 6%, hidróxido de sodio al 4%, cal y yeso al 8% y mucílago de cactus opuntia blanco con porcentajes al 4 y 8%. Algunas construcciones donde se emplearon estos materiales arcillosos son: Casas Grandes en Paquimé, Chihuahua, La Venta en Tabasco; Yácatas en Tzintzuntzán, entre otros.

Palabras clave: arcilla; colorimetría; adiciones; restauración.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do campo de restauração, é muito importante determinar a perda de intensidade de cor dos materiais usados para restaurar ou preservar, uma vez que a observação subjetiva pode levar a erros na apreciação das tonalidades.

Devido à sua disponibilidade e facilidade em modificar suas propriedades adaptando-as às necessidades de aplicação, as argilas são amplamente utilizadas na construção civil e cerâmica.

Deve-se ter em mente que a restauração de edifícios históricos é uma intervenção que visa acima de tudo a recuperação respeitosa do referido patrimônio cultural, e, portanto, requer especialistas na área para a preparação dos projetos, a realização dos inquéritos relevantes e da análise necessária, direção e supervisão da obra, para que as intervenções propostas no projeto sejam aplicadas na obra de maneira correta, respeitosa e socialmente responsável.

1.1 Antecedentes

A presente investigação foi realizada para complementar os estudos de construções feitas com terra bruta, adobes, que tem relevância em sua conservação e restauração no México, América Latina e no mundo todo, uma vez que há uma quantidade considerável de artefatos e imóveis com grande valor cultural feito a partir deste material, especialmente o pré-clássico e o epiclássico (Cuéllar López, 2014).

O banco de argila para extrair o material de estudo foi escolhido em virtude de nas margens do Lago Pátzcuaro (Cidade Mágica), no México, há importantes templos católicos da colônia, construídos com alvenaria de barro, ignimbritas e tufo, com proporções concebidas segundo os escritores europeus Vitruvius, Palladio e Alberti, mas com tecnologia histórica modificada pela etnia Purhépecha. Exemplos deste tipo de construção são a Basílica de Nossa Senhora da Saúde, os templos de Janitzio, Jeráhuaro, Tzintzuntzán, Quiroga, Santa Fé, Ihuatzio, Cucuchucho, Napízaro, Erongarícuaro, Ichupión, San Andrés, San Jerónimo e outros.

As argilas não são materiais translúcidos ou incolores, geralmente possuem cores que vão do esbranquiçado ao preto (Eleoterio et al., 2016), passando pelo ocre, marrom, vermelho, cinza; Menos comum, mas também verde. As argilas também foram usadas em tintas de decoração para colorir (Rathossi et al., 2010, Lin et al., 2014, Viscarra et al., 2009, Hu et al., 2007). As cores avermelhadas e ocre se devem aos óxidos de ferro presentes nas diferentes argilas (Mahmoudi et al., 2016, Hradil et al., 2016, Valanciene et al., 2010, Li et al., 2015).

As argilas podem ser minerais cristalinos como o Quartzo, mas com magnitudes $\leq 2 \mu\text{m}$ e são então considerados como minerais argilosos porque são encontrados em sedimentos argilosos (Özkan e Zeliha, 2016). Sua estrutura laminar cristalina permite que eles apresentem alterações volumétricas higroscópicas e uma grande área superficial. As argilas são materiais plásticos, expansivos e contráteis, dependendo da sua umidade, por isso buscamos modificar esse comportamento com diferentes materiais adicionados para evitar alterações volumétricas, e são conhecidos como estabilizadores volumétricos ou chamados apenas de estabilizadores. A literatura fala sobre alguns estabilizadores como, por exemplo, calcário, que reduz a expansão-contração do material, sugerindo valores máximos dos mesmos em porcentagem de 15% do peso da argila.

Estabilizadores também são usados porque as argilas são solúveis em água e têm pouca durabilidade contra-ataques ambientais (chuva, sol, radiação solar, umidade capilar, chuva, ventos dominantes, etc.), a menos que submetidas a temperaturas que as transformam em cerâmicas, materiais mais estáveis física e mecanicamente (Özkan e Zeliha, 2016). Materiais estabilizantes que têm sido utilizados: cimento hidráulico, fosfatos, sais de alumínio e, recentemente, polímeros, estes materiais modificam as propriedades físico-químicas das argilas reduzindo sua expansão na presença de água (López et al., 1999).

Existem outros materiais estabilizadores, tais como: cal (Anikwe et al., 2016; Zhang et al., 2015; Hotineanu et al., 2015; Khemissa y Mahamedi, 2014; Modarres y Nosoudy, 2015; Sangiorgi et al., 2016), cimento (Vali Vakili et al., 2016; Wu et al., 2016; Mardani-Aghabaglou et al., 2015; Zak et al., 2016; Gupta, et al., 2017), hidróxido de sódio (soda cáustica) (Yaowu et al., 2017; Cong et al., 2015 ;; Carrol et al., 1971), mucilagem de cacto *Opuntia* branco e gesso (Flores Rentería, 2010; Dominguez Olguín 2008; Velázquez Pérez, 2015, Ahmed et al., 2014, Kuttah e Sato, 2015, Ahmed e Ugai, 2011). Esses pesquisadores constataram como resultado de seus estudos materiais com menores alterações volumétricas e cores semelhantes para a elaboração de adobes e argamassas para a reconstrução do patrimônio cultural, sustentável e mais relacionado ao meio ambiente. A adição de macrofibras orgânicas às argilas não modifica substancialmente a cor, seu principal benefício está em suportar solicitações dinâmicas e meteorológicas (Mattone, 2005), o que não é o objetivo deste trabalho.

Similarmente, em um estudo anterior, várias adições foram usadas com porcentagens de 1% a 10% em peso da argila. Valores acima de 10% resultaram em mudanças de cor rapidamente. As menores mudanças foram observadas com porcentagens de até 10% em peso de argila (Flores Rentería, 2010, León Ambrosio, 2017, Flores Ponce 2018). Observou-se que não houve alterações estéticas e mecânicas significativas entre as proporções: 1% e 2%, 3% e 4%, 5% e 6%, 7% e 8%, 9% e 10%. O objetivo é fornecer estabilidade volumétrica às argilas estudadas, de modo que elas possam ser usadas para fins de restauração, principalmente, mas com uma alteração mínima nas propriedades colorimétricas em relação à argila original.

1.2 Análise Colorimétrica

A quantificação da colorimetria é um teste não destrutivo (Gómez 2008, Johnston, 2001, Lamb e Bourriau, 1995), que felizmente também pode ser realizado in loco, para casos de propriedades patrimoniais.

Existem vários sistemas de medição de cores, tais como: Münsell (Albert Henry Münsell, 1915), Ostwald (Friedrich Wilhelm Ostwald, Science of Color, 1923, Nobel 1909), DIN (Deutsche Institut für Normung ou German Standards Institute), Natural Sueco (Skandinaviska Färginstitutet AB, o Instituto Escandinavo de Cor em 1960, que posteriormente mudou para NCS), NCS (Sistema de Cores Naturais, EUA, 1985), OSA (OSA-UCS, Optical Society of America Uniform Color Space, 1947), Küppers (Harald Küppers, Alemanha, Teoria da Cor, 1992), etc.

A Comissão Internacional de Iluminação em 1924, CIE por sua sigla em francês (Commission Internationale de l'Eclairage), desenvolveu dois dos sistemas mais amplamente utilizados para a avaliação e medição de cor em termos de refletância; capacidade das superfícies para refletir a luz espectral da amostra; o primeiro foi criado em 1931 com base nos valores tristimulares (X, Y, Z) e o segundo foi criado em 1976, referindo-se aos espaços de cor (L^* , a^* , b^*).

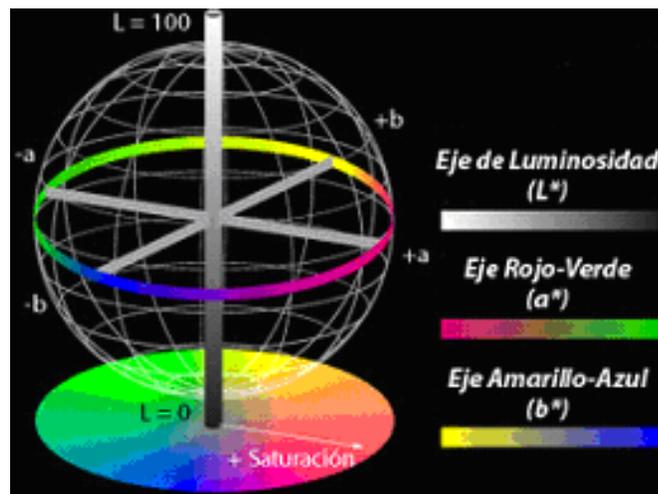


Figura 1. Diagrama de espaço de cores $L^* a^* b^*$. O L^* ou o eixo de brilho vai de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto o eixo a^* e b^* vai de -128 a 127. Os casos em que $a^* = b^* = 0$ são acromáticos, por exemplo o eixo L^* representa a escala de cinza acromática que vai do branco ao preto, Stephen Westland ©.

O sistema CIE XYZ especifica estímulos cromáticos com base nos valores tristimulares de três primárias e a base desse sistema foi o segundo observador padrão. Este 2º observador padrão é o resultado do estabelecimento experimental de uma igualdade entre comprimentos de onda monocromáticos com misturas dos três principais aditivos (vermelho, verde e azul). Por outro lado, os valores tristimulares são quantidades dessas primárias que especificam um estímulo de cor, eles são conhecidos como X (vermelho), Y (verde) e Z (azul) e para o observador de 2º eles têm um valor de $X = 55,55$, $Y = 57,33$ e $Z = 90,25$.

Portanto, tendo em vista a necessidade de um espaço de cor uniforme, foi criado o sistema CIE $L^*a^*b^*$, também conhecido como CIELAB, que é um sistema baseado em brilho L^* (claro ou escuro) e cores opostas a^* (a^* vermelho positivo e $-a^*$ verde negativo) e b^* (b^* amarelo positivo e $-b^*$ azul negativo), que indicam a orientação da cor (Figura 1).

Após quantificar a cor, foi necessário quantificar a diferença entre uma referência e uma amostra. O cálculo dessas diferenças de cores é uma das aplicações mais importantes da colorimetria.

Nestes termos, a colorimetria é uma ferramenta muito útil nos tratamentos conservadores de diferentes obras de arte e patrimônio cultural e artístico, pois durante estes trabalhos, as características estéticas e cromáticas do objeto não devem ser alteradas, respeitando o trabalho original dos autores. Para isso, deve ser feita uma seleção correta dos materiais a serem utilizados durante as diferentes intervenções, levando-se em consideração a eficácia dos tratamentos utilizados e as modificações cromáticas que o trabalho pode sofrer. Assim, a fim de minimizar as alterações cromáticas nos produtos restaurados, é necessário realizar um estudo colorimétrico antes, durante e após cada restauração, a fim de obter uma aplicação de materiais na restauração da maneira menos perceptível possível.

2. PROCEDIMENTO

Em primeiro lugar, foi realizada uma caracterização da argila por difração de raios X, o que permitiu determinar a composição da argila base e posteriormente uma análise colorimétrica foi feita para ela e para as diferentes adições, a fim de observar os efeitos sobre suas propriedades colorimétricas, limitada a testes voltados para esse fim, deixando de lado as propriedades mecânicas, uma vez que não é objetivo deste trabalho.

2.1 Materiais empregados

As argilas vieram do Banco de Arcilla de Santiago Undameo, Michoacán, México, próximo à capital, localizado nas coordenadas 19°42' de latitude norte e 101°11,4' de longitude oeste. Além desta argila, utilizaram-se adições com diferentes materiais de origem mineral e orgânica, conforme indicado.

Com estes resultados para o projeto do experimento, foram escolhidos os percentuais de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, segundo estudos realizados por (Flores Rentería, 2010, de León Ambrosio, 2017, Flores Ponce, 2018), comparando contra um testemunho com adições zero.

2.2 Preparação das amostras

Os estabilizadores foram adicionados à argila selecionada, como indicado na norma ASTM D 6276, as adições foram incorporadas na mistura no momento da combinação dos materiais (adição de argila) e água de amassamento nas percentagens indicadas. As adições foram incorporadas a seco, mantendo constante a temperatura ambiente entre 23-25°C, e verificando o pH da mistura, em torno de 12,4 (Flores Rentería, 2010). As amostras utilizadas na quantificação da cor foram pastilhas de argila estabilizada de 1,5 polegadas de diâmetro com ¼ de polegada de espessura, como mostra a Figura 3.

2.3 Análise por Difração de Raios X

Na análise por difração de raios X, para garantir a orientação aleatória dessas partículas em relação ao feixe de incidente monocromático, a amostra foi moldada sem compactação (Dyson, 2004, Benjamin, 1969, Kittel 2005).

Neste caso, um difratômetro Bruker AXS modelo D8 Advance foi usado com um detector Linx e um tubo de raios X de Cu com um monocromador. A figura 2 indica o difratograma de raios X correspondente à argila estudada. Os picos obtidos foram comparados com os padrões de reflexão da base de dados do JCPDF, esta comparação permitiu estabelecer que a argila estudada é composta principalmente de quartzo (Q) e caulinita (K).

Nas áreas onde rochas graníticas e pórfiro são decompostas em larga escala, as argilas são normalmente encontradas em grandes camadas de caulim, misturadas com quartzo livre e óxidos de ferro de alguns outros minerais presentes (Dana, 1986). A DRX foi realizada no Instituto de Física da Universidade Nacional Autónoma do México (IFUNAM). Os caulinitos possuem áreas de superfície de 15 a 50 m²/gr.

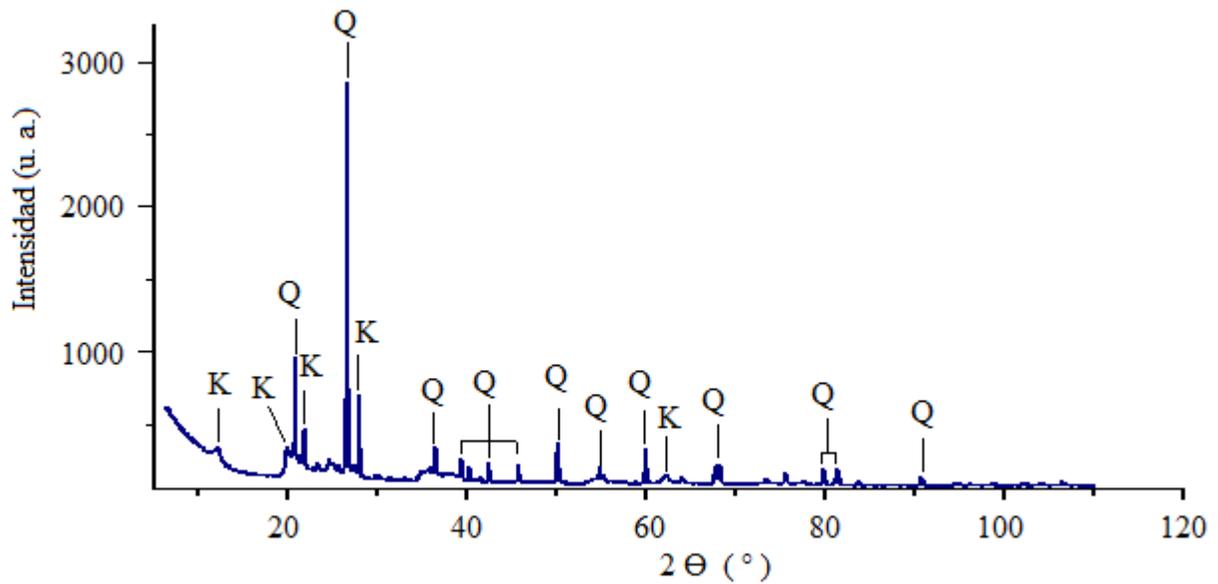


Figura 2. DRX da argila, tipo de cristal identificado; Q se refere ao quartzo e K à caulinita.

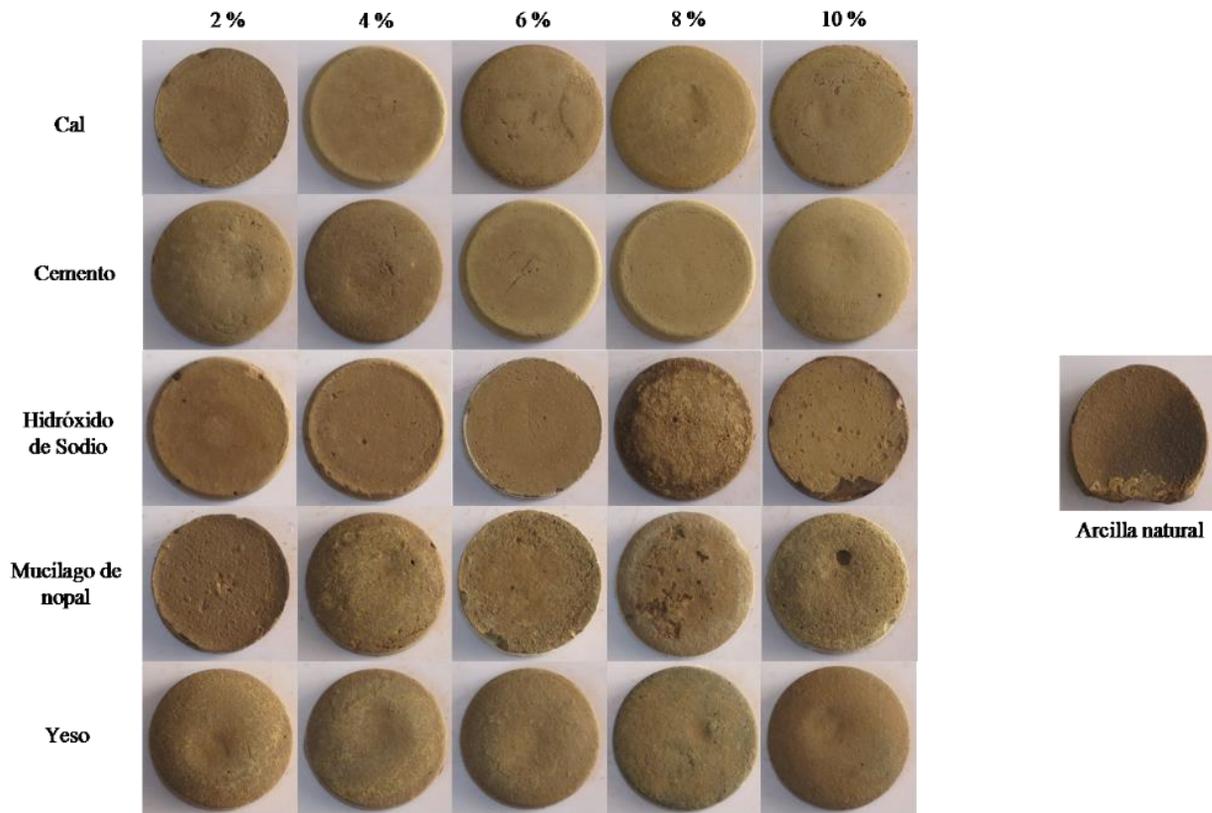


Figura 3. Pastilhas ou tabletes de argila com adição de cal, cimento portland, hidróxido de sódio, mucilagem de cacto opuntia branco e gipsita, nas porcentagens de 2, 4, 6, 8 e 10%.

2.4 Análise colorimétrica

Para estabilizar a argila base, foram adicionados 5 materiais ou produtos diferentes: cal, cimento portland, gipsita, mucilagem de cacto e hidróxido de sódio (soda cáustica). O objetivo dessas medidas colorimétricas é estabelecer as mudanças cromáticas que os diferentes estabilizadores e concentrações produzem, em comparação com a argila natural.

A análise colorimétrica da argila natural e argilas com adições com concentrações mencionadas acima, foi feita diretamente nas amostras com um espectrofotômetro Ocean Optics USB2000 com fibra óptica para luz visível e infravermelha, detector linear de silício CCD e sonda de dupla fibra. 400 micrômetros de diâmetro.

A sonda consiste em seis fibras que iluminam a superfície e uma sonda central faz a leitura da luz dispersa. O equipamento foi calibrado com uma referência branca e o ruído correspondente à medição de preto capturado foi subtraído com a grade do detector fechada. O tempo de integração para cada medição foi de 50 ms e 10 integrações foram feitas para reduzir o ruído dos espectros de luz dispersa.

As amostras foram analisadas pela frente e pelas costas, três medidas foram feitas em cada um dos lados em áreas claras, escuras e médias, a fim de calcular a média das medidas de cores obtidas. Os dados referentes à luminância, coordenadas a^* e b^* , croma (C) e matiz (h), foram analisados com o software de equipamentos Ocean Optics SpectralSuite®.

3. RESULTADOS

Utilizando este arranjo, as medições colorimétricas da argila natural foram estabelecidas de acordo com a Tabela 1. Realizando o traçado destes dados no sistema CIE $L^*a^*b^*$, Figura 4, e realizando uma justaposição com a região correspondente do círculo cromático para essas coordenadas, foi possível constatar que a argila apresenta tons vermelhos e amarelos - como esperado, pois esse composto adquire essa cor quando cozido.

A luminosidade da argila está quase no centro do sistema CIE $L^*a^*b^*$, portanto pode-se considerar que é um material ligeiramente opaco. Esta característica pode ser devida ao fato da superfície do referido composto ser áspera, o que impede uma reflexão especular da luz que recebe. Por causa disso, se pretende combinar este composto colorimetricamente, não é necessário apenas procurar por medidas colorimétricas semelhantes, mas também uma textura similar. Além disso, para fins experimentais e normativos, as argilas passaram na peneira 200 ASTM e ficaram retidas na peneira 400 ASTM, implicando um diâmetro de 63,5 a 127 microns

Tabela 1. Coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ da argila natural usada, nesta tabela mostra o brilho médio (L^*), quantidade de vermelho-verde (a^*) e azul-amarelo (b^*) que tem a amostra, bem como sua matiz (h) e seu croma (C).

ARGILA NATURAL (TESTEMUNHOS SEM ADIÇÕES)				
L^*	a^*	b^*	H	C
43.2± 6.2	11.1± 2.8	11.8± 4.0	46.0± 2.4	16.2± 4.8
37.00 a 49.40	8.30 a 13.90	7.80 a 15.80	43.60 a 48.40	11.40 a 21.00

Os dados da tabela 1 e figura 4 servem como uma comparação para as medições colorimétricas das diferentes adições. No caso de adição de calcário à argila, figura 5, verificou-se que, embora as concentrações de 2, 4 e 8% sejam colorimetricamente comparáveis com a argila natural, as concentrações de 6 e 10%, por sua vez, não foram, porque suas distâncias às coordenadas a^* e b^* da argila apresentam valores maiores que os do desvio padrão relatado para os dados citados.

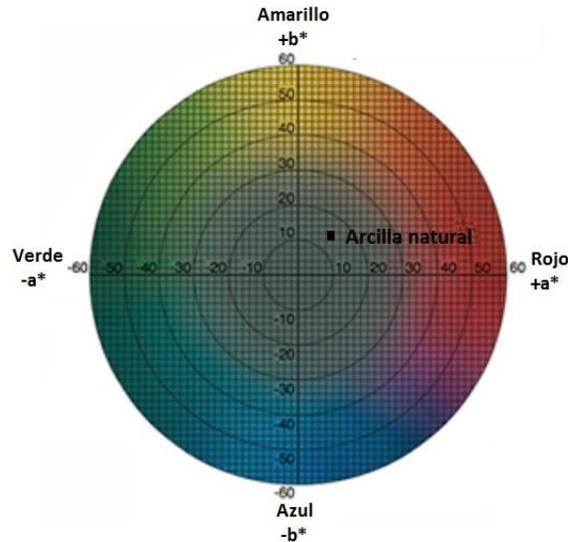


Figura 4. Apresentam-se, em média, as coordenadas a^* e b^* da amostra de argila natural, e o tom da argila natural é indicado com o círculo cromático.

Isso também pode ser analisado com a figura 5, que indica a posição das adições em comparação com a argila. Na referida figura 5, é visível que os pontos correspondentes às adições de 6 e 10% são os mais afastados da posição colorimétrica da argila. Considera-se que uma diferença de duas unidades é necessária neste sistema de coordenadas colorimétricas, de modo que uma diferença de cor seja visível com o olho humano.

A quantidade de luminosidade da argila com a adição de cal é comparável com a quantidade de luz da argila natural, uma vez que os valores medidos, com seu respectivo desvio padrão, estão dentro da incerteza em comparação com o valor da argila.

As medidas colorimétricas das argilas com diferentes concentrações de cimento estão indicadas na figura 6. Analogamente ao raciocínio para a cal, as coordenadas a^* e b^* da referida adição foram comparadas com a argila natural; com base nisso, verificou-se que, com exceção da coordenada b^* da adição de 8%, todas as distâncias colorimétricas são menores que os desvios das coordenadas a^* e b^* correspondentes a cada adição. Isso permite afirmar que as medidas colorimétricas da argila natural e as adições de cimento em qualquer porcentagem são muito semelhantes.

Isso fica evidente na Figura 6, onde é evidente que, embora existam pontos muito distantes da argila, como é o caso da adição de 2%, esse valor está dentro da incerteza. O cimento também apresenta valores luminosos comparáveis aos da argila natural, em geral, é mais luminoso; no entanto, desvios desses valores incluem o valor da argila natural.

Em argilas com adições de hidróxido de sódio (soda cáustica) ocorre uma situação semelhante ao cimento: todas as distâncias colorimétricas estão dentro do intervalo do desvio padrão, exceto para a coordenada b^* da adição de 8%. Isto pode ser verificado na Figura 7, onde o ponto correspondente à argila permanece apenas fora da incerteza marcada pela coordenada b^* da adição de 8%.

Com exceção da adição de 8%, o hidróxido de sódio é mais brilhante que a argila natural, mas o desvio padrão de todas as concentrações indica que esses valores são comparáveis à luminosidade da argila natural.

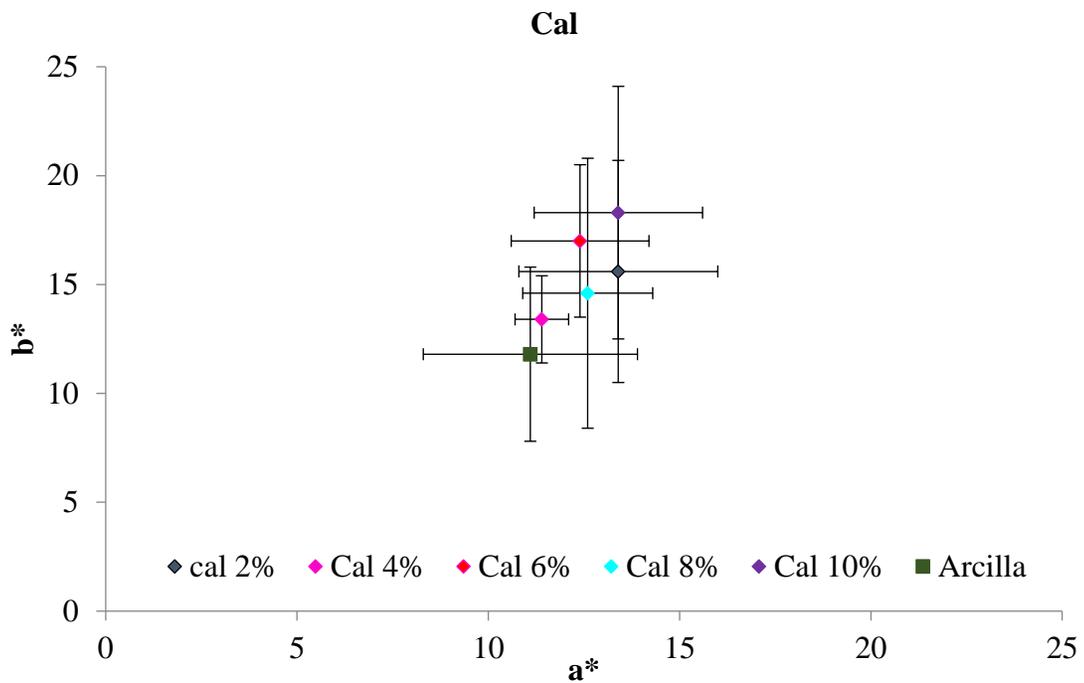


Figura 5. Nesta figura são mostradas, em média, as coordenadas a* e b* das diferentes adições em porcentagens, da cal, bem como a posição colorimétrica da argila natural e o tom destes pontos é esquematizado com o círculo cromático.

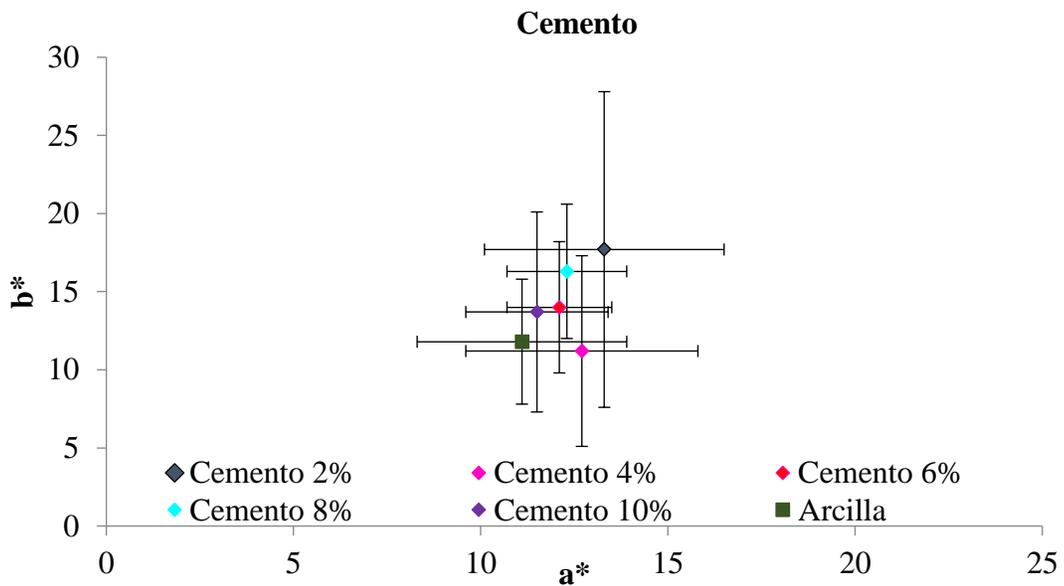


Figura 6. Esta figura mostra, em média, as coordenadas a* e b* das diferentes adições de cimento Portland, bem como a posição colorimétrica da argila natural e o tom destes pontos é esquematizado com o círculo de cores.

Hidróxido de Sodio (Sosa Cáustica)

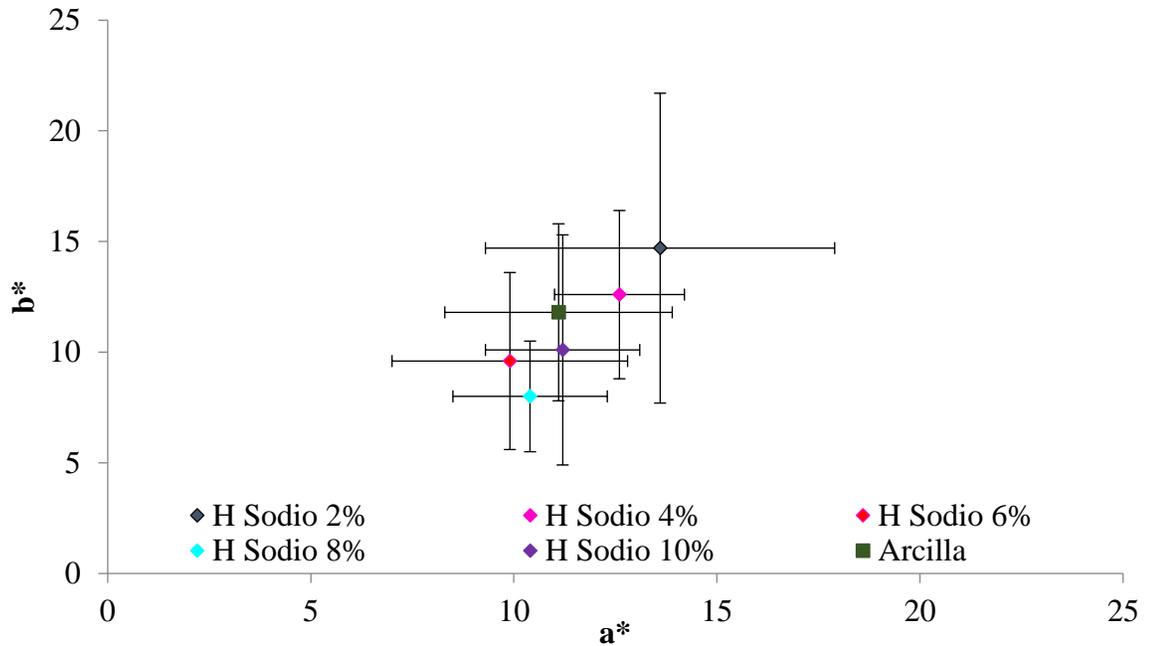


Figura 7. Esta figura mostra, em média, as coordenadas a* e b* das diferentes adições de hidróxido de sódio, bem como a posição colorimétrica da argila natural e o tom destes pontos é delineado com o círculo cromático.

No que diz respeito às argilas com adição de mucilagem do cacto, a distância colorimétrica entre a argila e a adição de 6% está fora do desvio padrão, isto é verificado na figura 8, assim também neste caso se pode dizer que existe uma similaridade satisfatória entre os tons das diferentes adições de mucilagem de cacto e argila.

Mucilago de Nopal

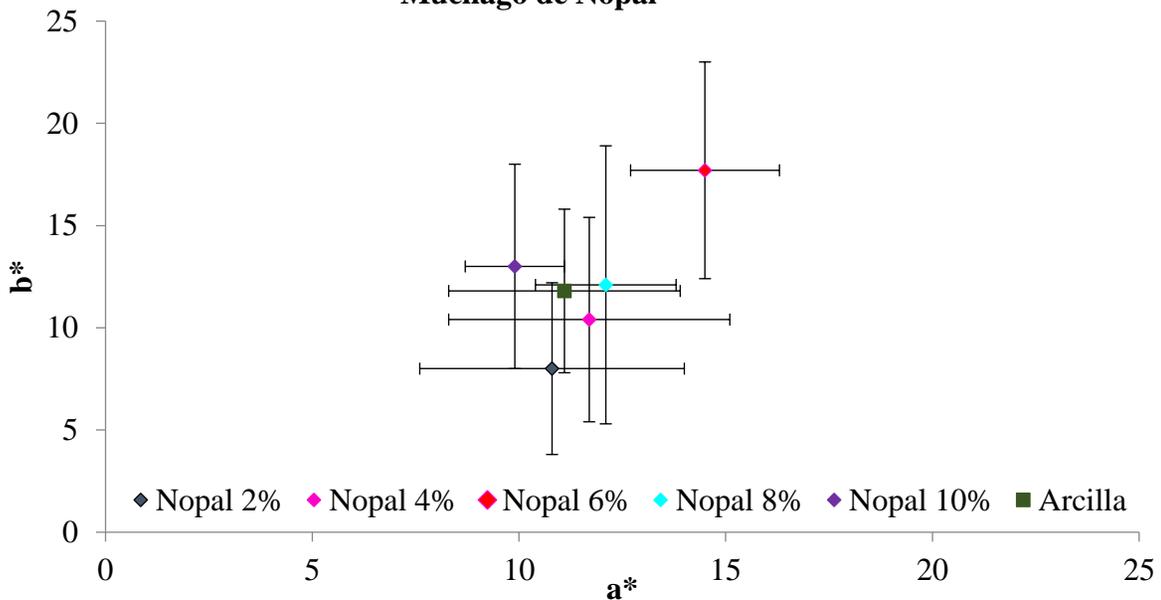


Figura 8. Esta figura mostra, em média, as coordenadas a* e b* das diferentes adições de mucilagem de palma branca, bem como a posição colorimétrica da argila natural e o tom destes pontos é esquematizado com o círculo cromático.

A quantidade luminosa da mucilagem do cacto é comparável com a da argila; com exceção da adição de 6%, que é a adição mais brilhante de todas as amostras e cujo valor, mesmo com o desvio padrão, é maior que o valor medido para a argila.

Para argilas com adições de gesso, somente a adição de 8% está dentro das faixas do desvio padrão. Em geral, as adições restantes, seja em uma (2 e 10%) ou ambas as coordenadas (4 e 6%) estão fora desse intervalo. Isto pode ser claramente visto na Figura 9, onde os pontos, em comparação com as figuras anteriores, estão mais distantes da argila, de modo que este elemento é menos colorimetricamente semelhante à argila.

As adições de gesso são muito mais opacas do que a argila natural, as 6, 8 e 10% são comparáveis para a medição de quantidades de argila natural, concentrações de 2 e 4% são mais opacas, mesmo os desvios.

Por outro lado, as diferenças de cor entre as diferentes concentrações para cada uma das adições são mostradas na Figura 10. Nela, são comparadas as coordenadas a^* (linhas vermelhas), b^* (linhas amarelas) e L^* (linhas cinzas) de cada percentagem em comparação com as referidas coordenadas de argila natural (linhas pontilhadas).

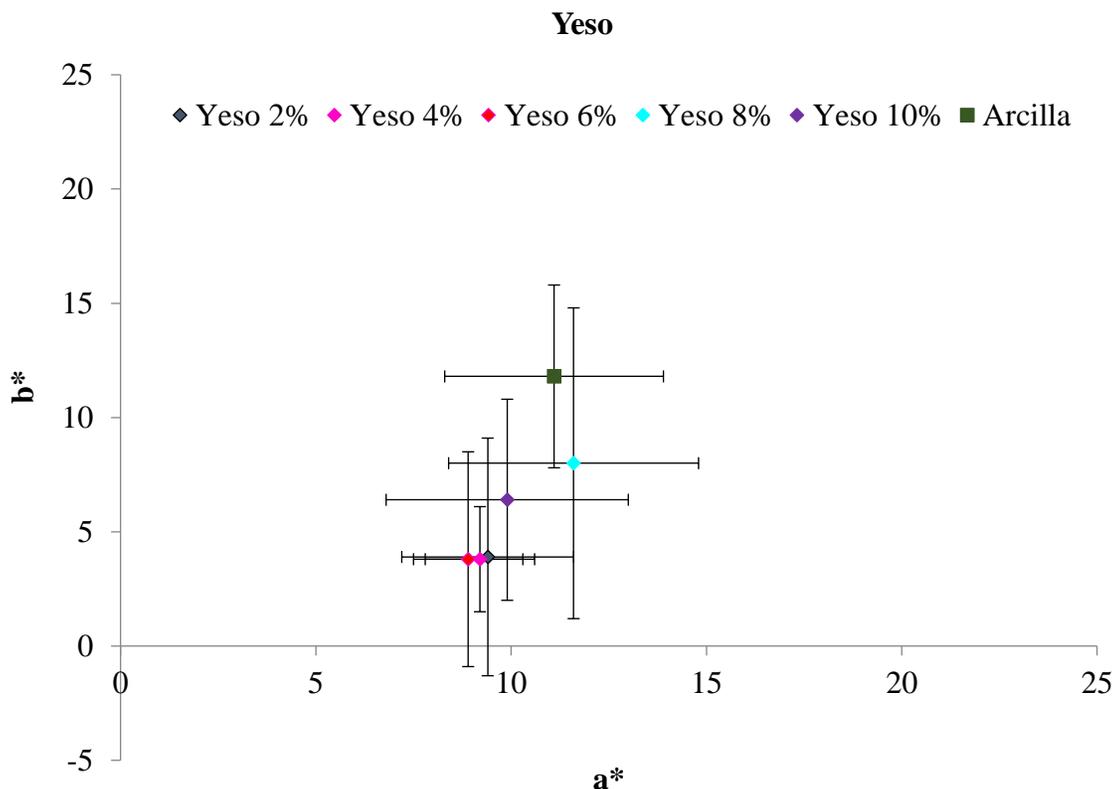


Figura 9. Esta figura mostra, em média, as coordenadas a^* e b^* das diferentes adições de gesso, bem como a posição colorimétrica da argila natural e o tom destes pontos é traçado com o círculo cromático.

Na figura 10, observa-se que a quantidade de vermelho, nas diferentes adições, leva a valores próximos aos da argila natural; Não é o caso da luminosidade ou da quantidade de amarelo nas argilas modificadas, então são essas coordenadas que determinam definitivamente a similaridade de uma adição com a argila natural.

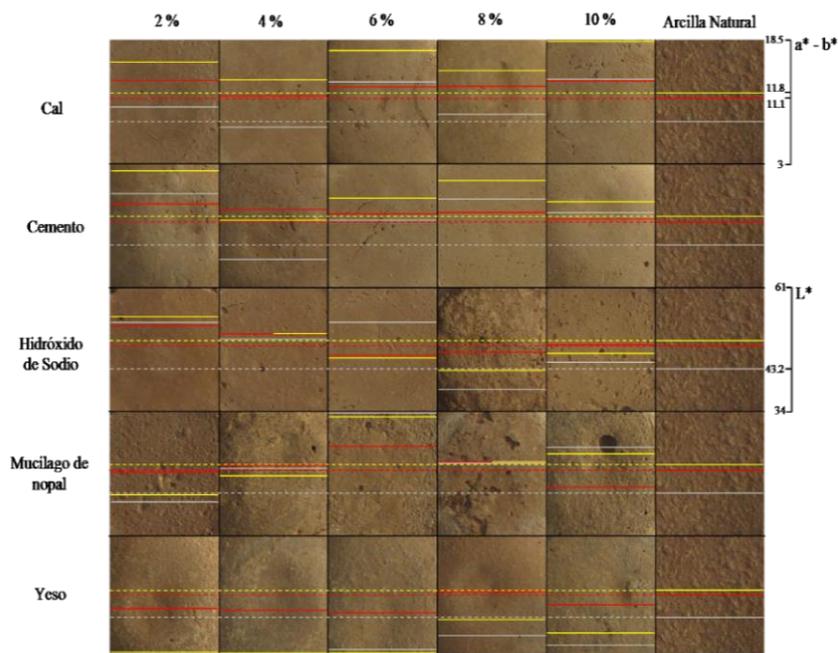


Figura 10. Comparação entre as diferentes concentrações das adições dos cinco elementos e a argila natural.

Neste diagrama, as diferenças entre as argilas com as diferentes adições e a argila natural tornam-se mais evidentes. Nenhuma das argilas com adições está próxima da argila base em todas as suas coordenadas, uma vez que, na maior parte, as amostras estudadas são muito mais brilhantes. Este fato pode ser devido ao fato de que a superfície das pastilhas é, em maior ou menor extensão, mais lisa que a superfície de argila natural estudada, portanto, como mencionado anteriormente, não é importante considerar apenas as medidas colorimétricas das adições, mas também sua textura.

4. CONCLUSÕES

Com base na análise da colorimetria feita com argilas sem e com adição, é estabelecido que as adições de cimento portland, hidróxido de sódio e mucilagem de cacto são as mais colorimetricamente semelhantes às argilas naturais, em geral. As medidas colorimétricas da cal apresentam menores semelhanças, mas ainda podem dar uma coloração mais próxima do que a do gesso, cuja única semelhança de cor com o controle é a adição de 8% em ambos os casos (cal e gesso), mas não atende plenamente a matriz. Portanto, para realizar a consolidação de tratamentos de artigos fabricados com argila crua, é aconselhável a utilização de cimento Portland com adição de 6% de peso; hidróxido de sódio com adição de no máximo 4% ou mucilagem de cacto com duas porcentagens: adição de 4% e 8%, desta forma, o objeto restaurado reterá, em grande parte, suas propriedades colorimétricas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Pesquisa Científica da UMSNH, bem como do CONACYT e do SEP, através dos projetos do Prodep, Profocie e da Rede Temática PFCE. Eles também apreciam o apoio técnico do Sr. Amado Flores Rentería na preparação das pastilhas.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmed, A., Keizo, U. (2011), Environmental effects on durability of soil stabilized with recycled gypsum. *Cold Regions Science and Technology*. 66(2 & 3): 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.12.004>
- Ahmed, A., Usama, H. I. (2014), Stability of soft clay soil stabilised with recycled gypsum in a wet environment. *Soils and Foundations*. 54(3):405-416. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.04.009>
- Anikwe, M. A. N., Eze, J. C., Ibudialo, A. N. (2016), Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*. 158: 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.011>
- Flores Ponce, A. (2018), “*Morteros base arcilla, estabilizados con adiciones orgánicas y minerales para su uso patrimonial*”, tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 20-31.
- Benjamin, W. A. (1969), “*Introduction to Crystallography*”. New York, USA, Inc., pp. 83–100.
- Besoain, E. (1985), “*Mineralogía de arcillas de suelos*”. San José, Costa Rica. IICA, pp. 997–1013.
- Carrol, D., Starkey, H. C. (1971), *Reactivity of clay minerals with acids and alkalies*. *Clays and Clay Minerals*. 19: 321-333.
- Cuellar López, A. M. A. (2014), “*Tecnología de Morteros Constructivos de Tierra: una tradición en la vertiente del Lerma Medio en el Epiclásico*”, tesis Maestría Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, pp. 50-125.
- Ma, C., Qin, Z., Zhuang, Y., Chen, L., Chen, B. (2015), *Influence of sodium silicate and promoters on unconfined compressive strength of Portland cement-stabilized clay*. *Soils and Foundations*. 55(5):1222–1232. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.09.021>
- Dana, E. S., Ford, W. E. (1986), “*Tratado de Mineralogía*”, Editorial Ceca, Decimotercera Impresión, México, pp. 741-745.
- De León Ambrosio, B. (2017), “*Estabilización De Arcilla Para Uso En Estructuras Patrimoniales: Evaluación De Sus Propiedades Físico-Mecánicas A Edades Tardías*”, tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 50-65.
- Dyson, D. J. (2004), “*X – Ray and Electron Diffraction Studies in Materials Science*”. Londres, Inglaterra. Editorial Maney Publishing, pp. 77–97, 115–134.
- De Aquino, R. E., Marques, J., Costa Campos, M. C., de Oliveira, I. A., de Souza Bahia, A. S. R., Coutrim dos Santo, L. A. (2016), *Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas*, Review Article. *Geoderma*. 262:35-44. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.010>
- Flores Rentería, A. (2010), “*La norma ASTM D 6276 como instrumento de estabilización de suelos para fines patrimoniales*”, tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 15-35.
- Gómez González, M. L. (2008), “*La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*”. 5ª Edición. Madrid, España. Cátedra, pp. 31–37.
- Gupta, D., Kumar, A. (2017), *Performance evaluation of cement-stabilized pond ash-rice husk ashclay mixture as a highway construction material*. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 9:159-169. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.05.010>
- Hotineanu, A., Bouasker, M., Aldaood, A., Al-Mukhtar, M. (2015), *Effect of freeze–thaw cycling on the mechanical properties of lime-stabilized expansive clays*. *Cold Regions Science and Technology*. 119:151-157. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.08.008>

- Hradil, D., Bezdička, P., Hradilová, J., Vašutová, V. (2016), *Microanalysis of clay-based pigments in paintings by XRD techniques*. *Microchemical Journal*. 125:10-20. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.10.032>
- Johnston Feller, R. (2001), “*Color Science in the Examination of Museum Objects. Non-destructive Procedures*”. California, USA. The Getty Conservation Institute, pp. 15–56.
- Khemissa, M., Mahamedi, A. (2014), *Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay*. *Applied Clay Science*. 95:104-110. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.03.017>
- Kittel, C. (2005), “*Introduction to Solid State Physics*”. 8ª edición. New Cork, USA. John Wiley & Sons, Inc., pp. 35–39.
- Kuttah, D., Sato, K. (2015), *Review on the effect of gypsum content on soil behavior*, *Review Article*. *Transportation Geotechnics*. 4:28-37. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2015.06.003>
- Lamb, T., Bourriau, J. (1995), « *Colour. Art & Science*” (Darwin College Lectures), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Li, Y., Zhang, H., Tu, C., Song, F., Luo, Y. (2015), *Occurrence of red clay horizon in soil profiles of the Yellow River Delta: Implications for accumulation of heavy metals*. *Journal of Geochemical Exploration*. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.11.006>
- Lin, Y. -H., Hori, Y., Hoshino, S., Miyazawa, C., Kohno, Y., Shibata, M. (2014), *Fluorescent colored material made of clay mineral and phycoerythrin pigment derived from seaweed*. *Dyes and Pigments*. 100:97-103. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.08.022>
- López-Lara, T., Zepeda-Garrido, J. A., Castaño, V. M. (1999), *Comparative Study of the effectiveness of different additives on the expansion behavior of clays*. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 4.
- Mahmoudi S., Bennour, A., Meguebli, A., Srasra, E., Zargouni, F. (2016), *Characterization and traditional ceramic application of clays from the Douiret region in South Tunisia*. *Applied Clay Science*. 127 & 128: 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.04.010>
- Mardani-Aghabaglou A., Kalıpcılar, İ., İnan Sezer, G., Sezer, A., Altun, S. (2015), *Freeze–thaw resistance and chloride-ion penetration of cement-stabilized clay exposed to sulfate attack*. *Applied Clay Science*. 115:179-188. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.041>
- Mattone, R. (2005), *Sisal fibre reinforced soil with cement or cactus pulp in bahareque technique*. *Cement and Concrete Composites*. 27 (5) pp :611-616. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.016>
- Modarres A., Nosoudy, Y. M. (2015), *Clay stabilization using coal waste and lime — Technical and environmental impacts*. *Applied Clay Science*. 116 & 117 pp:281-288. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.03.026>
- Olguin Domínguez, M. A. (2008), “*Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de montmorillonita con CaSO4*”, tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 10-50.
- Özkan, I., Yayla, Z. (2016), *Evaluation of correlation between physical properties and ultrasonic pulse velocity of fired clay samples*. *Ultrasonics*. 66:4-10. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2015.12.008>
- Hu, Q., Xu, Z., Qiao, S., Haghseresht, F., Wilson, M., Lu, G. Q. (2007), *A novel color removal adsorbent from heterocoagulation of cationic and anionic clays*. *Journal of Colloid and Interface Science*. 308 (1):191-199. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.12.052>
- Rathossi, C., Pontikes, Y. (2010), *Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour*. *Journal of the European Ceramic Society*. 30(9):1841-1851. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.002>

- Sangiorgi C., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Dondi, G. (2016), *Assessment of waste bleaching clay as alternative filler for the production of porous asphalts*. Construction and Building Materials. 109:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.052>
- Valanciene V., Siauciunas, R., Baltusnikaite, J. (2010), *The influence of mineralogical composition on the colour of clay body*. Journal of the European Ceramic Society. 30(7):1609-1617. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017>
- Vakili, M. V., Chegenizadeh, A., Nikraz, H., Keramatikerman, M. (2016), *Investigation on shear strength of stabilised clay using cement, sodium silicate and slag*. Applied Clay Science. 124 & 125:243-251. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.02.019>
- Velázquez Pérez, J. A. (2015), “*Arqueología experimental en Morteros Base Cal para Uso Patrimonial*”, tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 20-60.
- Viscarra Rossel, R. A., Cattle, S. R., Ortega, A., Fouad, Y. (2009), *In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy*. Geoderma. 150(3 & 4):253-266. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.025>
- Westland, S. © (2017), <http://www.design.leeds.ac.uk/people/stephen-westland/>.
- Wu, Z., Deng, Y., Liu, S., Liu, Q., Chen, Y., Zha, F. (2016), *Strength and micro-structure evolution of compacted soils modified by admixtures of cement and metakaolin*. Applied Clay Science. 127 & 128:44-51. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.040>
- Cao, Y., Guoa, Q., Zhuanga, Y., Yua, Z., Guoa, W., Zhangb, C., Zhub, M., Zhaoa, Q., Ren T., (2017), *Removal of harmful constituents from geothermal water by selected anion clays*. Procedia Earth and Planetary Science. 17:161 – 164. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.12.041>
- Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., Wu, W., (2016), *The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials*, Construction and Building Materials. 106:179-188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031>
- Zhang, X., Mavroulidou, M., Gunn, M. J. (2015), *Mechanical properties and behaviour of a partially saturated lime-treated, high plasticity clay*. Engineering Geology. 193:320-336. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.05.007>