**LOS YACIMIENTOS DE TECALI (1) DE LOS ALREDEDORES
DE TEQUISISTLÁN (ESTADO DE OAXACA),
por Teodoro Flores, Ingeniero de Minas.**

(Láminas XXIV á XXVI).

SITUACION.

Los yacimientos de tecali, objeto de este escrito, se encuentran situados en los alrededores de la población de Tequisistlán, perteneciente al Distrito de Tehuantepec, Estado de Oaxaca. Esta pequeña población, de cerca de 1200 habitantes, se encuentra próximamente á 60 kilómetros al Oeste de la ciudad de Tehuantepec, á 190 metros sobre el nivel del mar y á corta distancia de la margen derecha del río de su nombre.

Al Norte-Poniente de Tequisistlán y á unos 6 kilómetros de distancia, en el terreno denominado "Los Nanches," se encuentra situado el yacimiento de "Buliba-há," á 230 metros de altura sobre el nivel del mar. Al Sur-Poniente se encuentra el llamado "Falcué," casi al pie del cerrito del mismo nombre, en el terreno titulado "El Cascalote;" este último yacimiento dista de Tequisistlán cerca de diez kilómetros y está situado á 270 metros de altura absoluta.

Existen además en terrenos del rancho de Santo Domingo, á unos diez y seis kilómetros al Poniente de Tequisistlán, algunos otros yacimientos de tecali, hasta hoy poco conocidos.

VÍAS DE COMUNICACION.

Dos caminos carreteros ligan á Tequisistlán con Tehuantepec, el camino conocido en la localidad con el nombre de camino de "La Mixtequilla," que pasa por la Mixtequilla, Las Pilas, Salazar, Las

(1) He adoptado la palabra *tecali*, en lugar de la de *onix*, generalmente empleada para designar á la variedad de caliza estilática que en los Estados Unidos del Norte llaman "*mexican onix*," por parecerme de uso más propio, pues además de que esta palabra proviene de la localidad mexicana (Tecali, Puebla), en la cual se encontró por primera vez en el país este material de construcción, su uso no da lugar á confusiones; pues, como es bien sabido, el onix propiamente dicho es una variedad de siliza cripto-cristalina, cuya composición química (SiO_2) es muy diferente de la de la caliza (CaCO_3).

Cuevas, El Tablón, Paso Ancho y El Salado, el cual corta varias veces al río de Tehuantepec y el camino llamado de La Yerba Santa que sigue por Yerba Santa, Buena Vista y Aguas-Calientes; este camino es más largo que el anterior, pero es menos accidentado y sobre todo, no corta al río de Tehuantepec; así es que en la estación de lluvias, cuando este río erece demasiado, se emplea este camino de preferencia para el tráfico entre ambas poblaciones, servido casi exclusivamente por carretas.

HISTORIA Y PRODUCCION.

A principios del año de 1896 fué descubierto el yacimiento de "Buliba-há," lám. XXIV, nombre que significa "agua hirviente" en el idioma de los nativos. Dos años más tarde fueron emprendidos los primeros trabajos de explotación, los cuales se sostuvieron durante un período de tres años y más tarde continuaron con largas interrupciones hasta su completa paralización en 1905.

Según datos que me fueron suministrados en la localidad, se extrajeron, durante el período de tiempo mencionado más de 25,000 pies cúbicos (1) de material; el tamaño de los blocks extraídos variaba entre 3 y 30 pies cúbicos, dominando en general los de 5, 8, 10 y 12 pies cúbicos.

En el yacimiento de Falené ("hombre indígena") lám. XXIV, no han sido emprendidos ningunos trabajos formales hasta ahora y solamente se han limpiado tres lugares diferentes del depósito, en los cuales se han quebrado algunos bancos superficialmente. El yacimiento de Santo Domingo no ha sido explorado todavía y permanece cubierto en gran parte de su superficie por terreno detrítico y tierra vegetal.

FISIOGRAFIA.

La región en que se encuentran los citados yacimientos de teocali, es una región poco elevada sobre el nivel del mar, que forma parte de la cuenca hidrográfica del río de Tequisistlán, cuenca limitada por eminencias cuya altura absoluta está comprendida entre 200 y 1500 metros.

El río de Tequisistlán, que es afluente del río de Tehuantepec, lám. XXV, nace al Noroeste del pueblo de San Bartolo, en las serranías del Distrito de Yantepec y siguiendo con una dirección general S.

(1) El pie cúbico es la unidad de volumen más usada en el comercio para operaciones con este material de construcción.

Yacimiento de Buliba-há.

Crestón de Falcué.

E. E., va á regar los terrenos de Tequisistlán y los de la hacienda de San Cristóbal, para reunirse más abajo con el río de Tehuantepec, á corta distancia de la población de Jalapa del Estado.

El río de Tehuantepec nace, con el nombre de río de Toledo, en las cercanías del pueblo de San Dionisio Ocotepec del Distrito de Tlacolula; atraviesa los Distritos de Tlacolula, Yautepec y Tehuantepec y después de un curso de cerca de 300 kilómetros desagua en la Bahía de La Ventosa en el Océano Pacífico. En el Distrito de Yautepec sigue este río una dirección general de Occidente á Oriente, pasando por terrenos de la hacienda de San José, pueblos de Toltolapa y Nejapa, hacienda de Narro y Lachicela; al penetrar al Distrito de Tehuantepec cambia su dirección al Sureste y se dirige hacia Jalapa del Estado, en cuyas inmediaciones recibe, como he dicho antes, las aguas del río de Tequisistlán; sigue después por Santa María Mixtequilla y más abajo va á bañar con sus aguas el barrio de San Blas Atenipa, de Tehuantepec, á cuya ciudad cruza, siendo salvado allí por el puente más importante del Ferrocarril del Istmo.

Entre las eminencias de poca altura que limitan la cuenca del río de Tequisistlán puedo citar á las siguientes: Cerrito del Calvario (210 m. de altura sobre el nivel del mar), situado á orillas de la población; cerros del Pozo (280 ms.), Falcué y Pedregal, situados al S. y S. W.; la Peña Colorada al W.; los cerros de Los Nanches, La Bolsa, Loma de Liebres, Gavilán y Remolino, al N. W. N. y N. E.; entre los cerros más elevados citaré al N. W. el cerro de La Majada; al N. los cerros Quebrado y Verde; al N. E. el cerro Calderona, cerro Piedra de Cal y cerro Cuache.

Al S. E. de Jalapa se encuentra el cerro del Marqués y al N. y N. E. los cerros de Tizate y Guetabence; este último de 1500 ms. de altura absoluta.

En los alrededores de Tehuantepec se encuentran los cerros del Tigre y Dani-Lieza y al W. el elevado cerro de Quien-gola de 1,300 ms. de altura sobre el nivel del mar.

El clima de la región es cálido y seco; la vegetación es lozana solamente en las vegas que forman los ríos; pues en los terrenos altos es más bien de carácter desértico. En la época de mi visita (fines de Abril y principios de Mayo del presente año) se notaba en la región bastante sequedad; por el río de Tehuantepec corría muy poca agua y el río de Tequisistlán no llevaba ninguna, pues la ha-

cienda de San Cristóbal había agotado completamente sus aguas aprovechándolas en el regadío de sus labores.

GEOLOGIA.

La constitución geológica de la región, en sus rasgos generales, es la característica de los grupos montañosos que se extienden al Oeste de la depresión que se forma en el Istmo de Tehuantepec, entre dos sistemas orográficos de edad geológica diferente: el sistema al Este del Istmo, que físicamente pertenece á las cadenas de montañas de la América Central y el sistema del Oeste, que forma parte de las sierras mexicanas.

En este último sistema se encuentra localizada la región recorrida, cuya estructura geológica puede considerarse formada en la base, por gneiss y mica-pizarras con intrusiones de granito ó de pórfidos cuarcíferos ó intercalaciones de felsita. Sobre esta serie descansan calizas, brechas, areniscas y conglomerados rojos terciarios, probablemente pliocénicos, y terrenos de aluvión. Las calizas contienen restos de Rudistas que permiten referirlas al Sistema Cretácico; en algunas zonas se encuentran completamente marmorizadas, por metamorfismo dinámico.

El suelo de Tehuantepec y el de sus alrededores está constituido por gneiss y macizos graníticos; el cerro de Dani-Lieza está formado, en su mayor parte, por intercalaciones de felsita en augengneiss.

Entre Tehuantepec y Mixtequilla se encuentra terreno de aluvión descansando sobre granito gneissico; en Mixtequilla existen gruesos bancos de caliza gris, con nódulos de pedernal, que ha sido explotada y utilizada como balastre en algunos tramos del Ferrocarril del Istmo.

Al Noroeste de Mixtequilla se ven cerros elevados constituidos por calizas casi completamente metamorfoseadas; el río de Tehuantepec corre entre estas calizas siguiendo un cañón, en el cual las calizas forman á veces acantilados considerables, como puede verse en el paso llamado del "Tablón," que es uno de los puntos en que el camino corta al río de Tehuantepec.

En Las Pilas se encuentra un granito gneissico bastante cargado de biotita.

El cerro de Quien-gola está formado por calizas cuyo rumbo varía entre 35° y 40° NW., con inclinación de 25° al NE.

Pasado El Tablón se presentan en algunos lugares pizarras cristalinas y más adelante calizas hasta antes del rancho de El Salado, en donde aparecen manchones de arenisca roja y después terreno de aluvión, descansando sobre un granito de biotita que se presenta muy alterado y descubierto en algunos tramos del camino; los terrenos aluviales continúan hasta Tequisistlán, en donde contienen pedazos de granito y grandes trozos de andesita y forman las lomas de los alrededores de esta población.

Las brechas, areniscas y conglomerado rojo se encuentran debajo de los terrenos aluviales ó constituyen pequeños cerros acantilados que resaltan en el terreno por su color rojo; en el acantilado que la Peña Colorada forma en la margen derecha del río de Tequisistlán, se puede apreciar el espesor de estos sedimentos; en el camino para Tlacolulita, antes de pasar el río, existe un pequeño depósito de tecali que descansa sobre capas de areniscas y conglomerado rojo, cuyo rumbo es de 65° NW. con inclinación al SW. 40° ; el conglomerado rojo y las areniscas se encuentran cortadas allí por diques y reventazones de felsita y por una veta ferruginosa de 1 metro de espesor, que corre con una dirección de 25° NE. y echado 70° al NW.

Los terrenos aluviales y las brechas y conglomerados, se ven en muchos lugares, descansando sobre los granitos que forman la mayoría de los cerros de poca elevación de los alrededores de Tequisistlán (cerros del Pozo, Falcué y otros); estos granitos son más bien microgranitos, que tienen en una pasta finamente granuda numerosos cristales de ortoclasa y láminas de biotita alterada. En el arroyo de Macneinchi se encuentran algunas intrusiones de pórfidos cuarcíferos, y en el cerro del Pozo se ven intercalaciones de felsita en el granito.

ESTRUCTURA Y GÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS.

Los yacimientos de tecali de la región afectan la forma de depósitos horizontales ó en general poco inclinados, que se presentan en bancos ó costras de espesor variable; estos depósitos se encuentran cubiertos algunas veces por capas de tobas calizas ó caliza incrustante (travertino) que revela su presencia.

Los depósitos de Buliba-há descansan sobre las brechas y conglomerado rojo que se ven descubiertos en el arroyo de Pan-cué; el yacimiento de Falcué descansa directamente sobre un granito de biotita.

Los cortes geológicos adjuntos (lámina XXVI) demuestran la manera de presentarse de estos yacimientos.

Es muy frecuente encontrar cerca de estos criaderos de tecali cascadas de travertino ó pequeñas bóvedas de caliza incrustante, de las cuales surgen manantiales fríos de agua salada; las cascadas de travertino pueden verse en el arroyo de Pan-ené, en donde se encuentra uno de esos manantiales, y en el cual el agua, al evaporarse, ha abandonado la sal en gruesas costras; varias bóvedas de caliza *incrustante existen en la extremidad NE. del yacimiento de Fal-ené*, y otra de esas bóvedas puede verse en la orilla del camino entre Tequisistlán y el rancho de El Salado.

La génesis de estos yacimientos está estrechamente ligada con el depósito de las tobas calizas y travertinos á que acabo de referirme, de los cuales el tecali no es propiamente sino una variedad, debida solamente á modificaciones de estructura, mayor pureza relativa de composición y fenómenos de coloración originados por la presencia de óxidos y carbonatos metálicos (generalmente de fierro y manganeso).

La formación de estos depósitos podría explicarse de la siguiente manera: el agua, cargada de ácido carbónico, tiene la propiedad de disolver, á la temperatura ordinaria, el carbonato de cal, haciéndolo pasar al estado de bicarbonato; disuelve también, más lentamente, á los silicatos de cal, potasa y sosa, y á los óxidos de fierro y manganeso que se presentan con frecuencia en las calizas, en proporciones variables. Ahora bien, el agua *meteórica contiene en disolución*, como es bien sabido, cierta cantidad de ácido carbónico de la atmósfera, cantidad que con el paso del agua por el suelo aumenta en *proporción notable, sobre todo en presencia de materia orgánica*; el agua meteórica cargada así de ácido carbónico ha circulado y circula actualmente á través de las calizas de la región, ejerciendo sobre ellas una acción disolvente bastante enérgica y concentrando lenta, pero constantemente el cloruro de sodio que contienen estas calizas de origen marino, en pequeña proporción; el agua después de un curso subterráneo más ó menos largo, aparece en diversos puntos del terreno formando los manantiales de agua salada á que he hecho referencia; entonces se desprende, por disminución de presión, gran parte del ácido carbónico en exceso y tiene lugar, por consiguiente, una precipitación de carbonato de cal, que según las condiciones de depósito y mayor ó menor pureza relativa de composición, forma un

Escala horizontal: 1 a 200,000.
Escala vertical: 1 a 10,000.

- Granito de biotita
- Terreno de aluvion
- Brechas y conglomerado rojo
- Depositos recientes
- Yacimientos de antrax

yacimiento de tecali ó un depósito de travertino ó toba caliza; siendo el cloruro de sodio mucho más soluble en el agua, que el carbonato de cal, continúa disuelto y es más tarde abandonado, al evaporarse el agua, en los charcos que se forman en las oquedades del terreno.

La precipitación del carbonato de cal se está efectuando actualmente en muchos de los manantiales salados de la región y tiene lugar en capitas muy delgadas de diferentes colores que sobrepuestas unas á otras, forman el hermoso veteado característico de este material de construcción.

EDAD DE LOS YACIMIENTOS.

La manera de presentarse de los depósitos de Buliba-há, sobre rocas del terciario superior y el hecho de estarse efectuando actualmente la precipitación del carbonato de cal en los manantiales de Falcué y otros manantiales salados de la región, permiten considerar á estos depósitos como de edad cuaternaria.

CONDICIONES LOCALES.

En el yacimiento de Falcué los bancos de tecali se presentan bajo la forma aparente de un crestón de cerca de 200 metros de extensión longitudinal y de un espesor medio de 1 m.36; este crestón se interrumpe en algunos lugares y en otros está cubierto por terreno de acarreo; su dirección general es de 50° N.E., con inclinación al N.W. comprendida entre 20° y 40°; el espesor de los bancos varía entre treinta y setenta centímetros. El tecali que proviene de este yacimiento es en general de colores claros y su veteado es bastante bonito; como he dicho antes, no se han emprendido ningunos trabajos formales para explotar este criadero.

En el yacimiento de Buliba-há los bancos se presentan en una posición horizontal ó ligeramente inclinada que facilita mucho su explotación y su espesor varía entre treinta centímetros y un metro veinte centímetros. En mi visita á las nueve secciones que se trabajaron en la cantera abierta en este yacimiento tuve oportunidad de medir algunos blocks grandes, medianos y pequeños entre los muchos que existen labrados en las mencionadas secciones.

Las dimensiones medidas dan idea del tamaño y capacidad de los blocks, que se pueden extraer de este yacimiento y son las siguientes:

EN METROS.		EN PIES.
Blocks	{ 1 ^m 70 × 1 ^m 00 × 0 ^m 60	5' 8'' × 3' 4'' × 2' 0''
grandes	{ 1. 65 × 0. 85 × 0. 60	5' 6'' × 2' 10'' × 2' 0''
Planchas	{ 1. 95 × 0. 70 × 0. 27	6' 6'' × 2' 4'' × 0' 11''
	{ 1. 80 × 0. 80 × 0. 27	6' 0'' × 2' 8'' × 0' 11''
Blocks	{ 1. 50 × 0. 90 × 0. 25	5' 0'' × 3' 0'' × 0' 10''
medianos	{ 1. 15 × 0. 72 × 0. 55	3' 10'' × 2' 5'' × 1' 10''
Blocks	{ 0. 90 × 0. 30 × 0. 25	3' 00'' × 1' 0'' × 0' 10''
chicos	{ 0. 55 × 0. 35 × 0. 30	1' 10'' × 1' 2'' × 1' 0''

Algunos de estos blocks presentaban en sus caras grietas debidas al espacio hueco originado por la disolución de los óxidos de fierro, cuando estos óxidos forman vetas anchas; pero esto no sucede con frecuencia. El tecali que proviene de este criadero es muy semejante, en su aspecto, al de los yacimientos del Distrito de Etlá del mismo Estado de Oaxaca.

PRUEBAS DE LABORATORIO.

Para poder juzgar de la calidad del tecali que proviene de estos criaderos, emprendí una serie de pruebas en el Laboratorio del Instituto Geológico Nacional, sobre muestras elegidas de tal manera que correspondieran á tipos de las diferentes clases de material que se encuentran en ellos. Estas muestras fueron las siguientes:

Muestra No. I.—De color rojo, textura compacta y dureza de 3 (Escala de Mohs) corresponde á un hermoso tecali veteado de rojo.

Muestra No. II.—Fondo blanco con vetas verdes y rojas; se encuentra atravesada en su masa por pequeñas fracturas de óxido de fierro; su veteado es bastante fino. Dureza de 3.

Muestra No. III.—Color ligeramente verde, textura notablemente compacta, siendo su veteado tan fino, que afecta aparentemente un color uniforme. Dureza ligeramente superior á la de la muestra anterior.

Muestra No. IV.—Corresponde á un tecali de color uniforme, casi blanco, sin veteado aparente y es de textura compacta. Dureza de 3.

Las determinaciones de densidad, poder de absorción, porosidad, (1) etc., dieron los siguientes resultados:

(1) La porosidad se determinó por la fórmula de E. R. Buckley.—(Véase "The Building and Ornamental Stones of Wisconsin" by E. R. Buckley.—Bulletin of Wisconsin Survey No. IV.—Madison 1898, pág. 60.

	Muestra No.			
	I.	II.	III.	IV.
Densidad.....	2.750	2.711	2.750	2.770
Absorción en % del peso.....	0.004	0.010	0.004	0.004
	Kgs.	Kgs.	Kgs.	Kgs.
Absorción por metro cúbico.....	0.110	0.271	0.110	0.111
Porosidad.....	0.112%	0.026%	0.012%	0.013%
Pérdida de peso, por metro cúbico, debida á la desintegración por cambios bruscos de temperatura.....	Kgs. 0.495	Kgs. 2.609	Kgs. 0.385	Kgs. 0.470
Pérdida de peso, por metro cúbico, debido á la acción de una atmós- fera de oxígeno.....	Kgs. 0.055	Kgs. 0.170	Kgs. 0.055	Kgs. 0.166

La densidad arroja, en promedio, 2745 kilogramos para peso del metro cúbico de material por metro cúbico.

Las cifras relativas á la absorción por metro cúbico indican el aumento de peso, en kilogramos, que experimentaría un metro cúbico del material absorbiendo agua hasta su completa saturación y las correspondientes á la porosidad, indican el espacio vacío por ciento, referido al volumen de la piedra y contenido en el material.

La desintegración se determinó sometiendo á las muestras á cambios bruscos de temperatura y para apreciar los efectos del oxígeno se sometieron á la acción prolongada de una atmósfera de este gas; las cifras relativas á ambas determinaciones expresan la pérdida de peso, en kilogramos, que experimentaría un metro cúbico del material, debida á la desintegración producida por los cambios bruscos de temperatura ó por la acción del oxígeno.

Los resultados anteriores demuestran que el limitado poder de absorción de este material, lo pone en buenas condiciones de resistencia á la desintegración por congelación del agua en sus poros, circunstancia que disminuye sus efectos, como lo prueban las cifras relativas del cuadro anterior. El tanto por ciento de porosidad de

este material, permite clasificar el tamaño de sus poros como subcapilar y por consiguiente el agua absorbida sería difícilmente desalojada una vez retenida en sus poros; pero debe tenerse en cuenta, por otra parte, que esta cantidad de agua es tan pequeña que aun retenida por algún tiempo en los poros del material sería de efectos poco perjudiciales. Las muestras núms. I y II sufrieron, por los cambios bruscos de temperatura, un agrietamiento paralelo al veteado general.

Sometidas estas muestras á la acción prolongada de una atmósfera de oxígeno, experimentaron la pérdida de peso, por metro cúbico, que consta en el cuadro y la muestra núm. II se decoloró ligeramente.

Comparado este material con otros de la misma naturaleza de los que se usan en el país, resultó ser de buena calidad y muy semejante al que proviene de las canteras de Etla del mismo Estado de Oaxaca, aunque es, en general, de colores más claros que éste.

En el Laboratorio de Química del Instituto Geológico Nacional se hicieron los análisis de los Tecalis y Agua mencionados, obteniendo los resultados siguientes:

TECALIS.

Muestra N°	I.	II.	III.	IV.
N° del Análisis	963	964	965	966
Humedad	0.04	0.03	0.02	—
CO ₂	43.90	43.90	43.76	44.07
SiO ₂	0.03	0.07	0.07	0.06
SO ₃	0.40	0.10	0.40	0.39
MgO	0.34	0.12	0.23	0.49
CaO	54.60	55.15	54.76	54.11
Al ₂ O ₃	—	0.25	0.09	0.12
Fe ₂ O ₃	0.03	Huellas	Huellas	0.04
FeO	0.84	0.93	1.27	1.24
MnO	Huellas	Huellas	0.06	0.13
Suma	100.18	100.55	100.66	100.65

AGUA.

Nº del Análisis	957
Densidad á 21°C	1.014
SO ₃	0 ^{gr} 551
CO ₂	1.734
Cl ₂	7.089
SiO ₂	0.079
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0.016
Ca	0.258
Mg	0.061
K.	0.018
Na	6.252
Oxígeno básico	0.735
Suma	16.793

Residuo por evaporación 16^{gr}834 por litro.

RESUMEN.

Como resumen de lo anteriormente expuesto, puedo decir lo siguiente:

Los yacimientos de tecali estudiados se encuentran situados al Oeste de la ciudad de Tehuantepec, á más de 60 kilómetros de distancia, y en una región poco elevada sobre el nivel del mar, que forma parte de la cuenca hidrográfica del río de Tequisistlán.

Los citados yacimientos afectan la forma de depósitos horizontales ó en general poco inclinados, que se presentan en bancos ó estratos de espesor variable, frecuentemente cubiertos por tobas calizas ó travertino.

La génesis de estos yacimientos está estrechamente ligada con el depósito de las telas calizas y travertino, de las cuales el tecali es, propiamente, una variedad, debida solamente á las condiciones en que se ha efectuado el depósito, á la mayor pureza relativa de composición y á fenómenos de coloración, producidos por la presencia de óxidos y carbonatos metálicos.

Estos yacimientos han sido originados por fenómenos de disolución y precipitación que han tenido lugar y se realizan actualmente en los manantiales fríos salinos de la región.

La manera de presentarse de estos criaderos sobre rocas del ter-

ciario superior y el hecho de estarse efectuando actualmente la precipitación del carbonato de cal en algunos manantiales, permite considerarlos como de edad cuaternaria.

Por último, las pruebas de laboratorio demostraron que el material que proviene de estos yacimientos es de buena calidad y que puede, por lo tanto, ser utilizado como material de construcción y ornamentación.

México, Julio 14 de 1909.