

# Linealidades encontradas: Instituto de seguridad alimentaria y desnutrición

Sánchez Pérez, Erica

2024-12-12

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6172>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>



## MECÁNICA DE SUELO

determinar el conjunto de características que nos permiten obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

Erica Sánchez

**Indicé**

**Presentación del lugar**

**Estructura territorial**

**Ubicación y delimitación del área de estudio**

**Paisaje natural**

**Clima**

**Temperatura**

**Asoleamiento**

**Viento**

**Precipitación y humedad**

**Condiciones Fisiográficas-Geomorfológicas**

**Topografía**

**Geología**

**Edafología**

**Hidrografía**

**Vegetación**

**Predio**

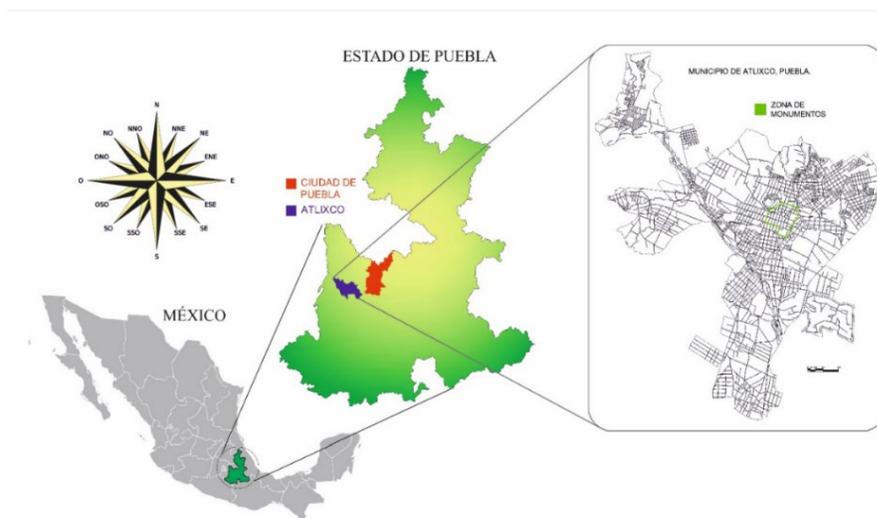
**Sondeo y extracción de muestra**

## **Estudio de mecánica de suelos para el proyecto cimentación de Atlixco, instituto de seguridad alimentaria y desnutrición.**

Atlixco es un municipio con un dinamismo que lo sitúa entre los principales núcleos regionales de desarrollo en el Estado de Puebla. Atlixco cuenta con una ventaja geográfica que lo posiciona como ruta necesaria hacia el sur, además, la vecindad con la ciudad de Puebla lo convierte en un lugar inmejorable, permitiendo su desarrollo en diversos ámbitos, además, se pueden distinguir las características orográficas, hidrológicas y el clima derivado de estas, esto hace que Atlixco sea un excelente nicho para la producción Agropecuaria, el turismo, las inversiones y el desarrollo inmobiliario.

Atlixco es el municipio número 19 de los 217 municipios que conforman al estado de Puebla y se ubica al Suroeste de la ciudad capital cuya distancia es de 32 km de esta y extensión territorial de 229 km<sup>2</sup>. Tiene una altitud promedio de 1840m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 49' 30" y 18° 58' 30" de latitud norte y los meridianos 98° 18' 24" y 98° 33' 36" de longitud occidental. El municipio colinda al Norte con el municipio de Tianguismanalco, al Noreste con los municipios de Santa Isabel Cholula y Ocoyucan, al Suroeste con el municipio de Atzitzihuacán, al Sur con los municipios de Huaquechula y Tepeojuma, Sureste con el municipio de San Diego la Meza Tochimiltzingo, al Este con la Ciudad de Puebla, y al Oeste con el municipio de Tochimilco (imagen 1)

Imagen 1. Localización de Atlixco, Puebla.



Fuente: Francisco Ruiz Herrera (2018).

Atlixco se encuentra inmerso en un territorio cuyas características fluctúan entre lo urbano y lo rural, es conocido por el cultivo de flores, es un lugar lleno de colores, además de ser conocido como pueblo mágico convirtiéndose así en un lugar turístico, presume su clima como superior al del resto de México, debido a su ubicación geográfica, abundancia de agua y vegetación, tanto los visitantes como los propios ciudadanos coinciden en que Atlixco posee el mejor clima del mundo. Posee un gran patrimonio arquitectónico por lo que se le dio el reconocimiento como Zona típica Monumental de Puebla (año). Funciona como una fuente de empleos de diversas variedades, que parece capturar con solvencia la mano de obra de sus localidades. Pero estos empleos son precarios por la baja calidad de la oferta de mano de obra. Las escuelas instaladas colaboran a que se resuelva este problema de la fuerza laboral, pero sólo parcialmente.

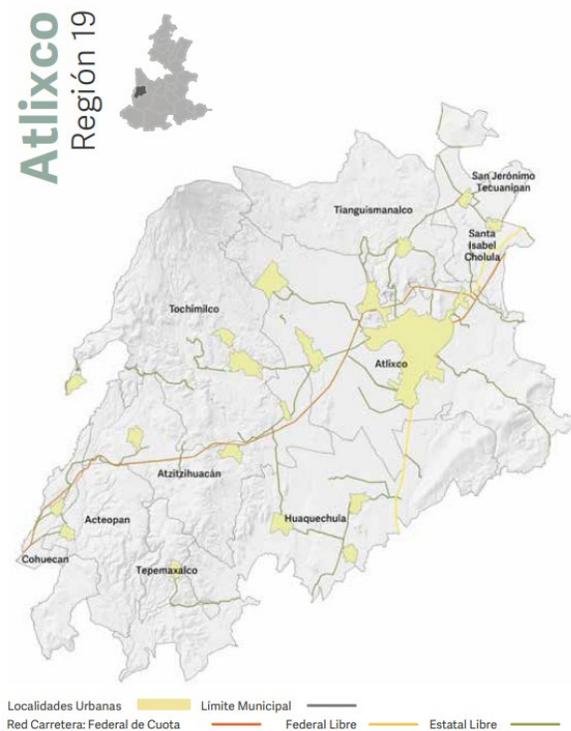
### **Estructura Territorial del municipio**

La división Territorial es un Factor determinante en la estructura e identidad estatal y nacional, por ello en este apartado se mostrarán los cambios más relevantes, a partir de la Constitución de 1917, son la base de su división territorial y de su organización política y administrativa, es decir, son una jefatura política electa popularmente con el objeto de llevar a cabo el gobierno interior de los pueblos.

El territorio que constituye a dicho municipio se extiende a 229.22 kilómetros cuadrados. Por las elevaciones de su territorio, está a una altitud media de 1,840 metros sobre el nivel del mar (msnm). Cuenta con 11 juntas auxiliares.

La región 19, consiste en los municipios de Santa Isabel Cholula, Huaquechula, Tianguismanalco, Tochimilco, Alzitzihuacán, San Jerónimo Tecuanipan, Cohuecan, Acteopan, Tepemaxalco y Atlixco (imagen 2)

Imagen 2: Municipio que conforman la región 19, Atlixco.



Fuente: Secretaría de Cultura del Estado de Puebla (2019).

## **Paisaje Natural**

Atlixco es uno de los 9 Pueblos Mágicos de Puebla el cual es reconocido por sus colores, flores, manantiales y danzas ancestrales bajo el volcán, es un municipio que ofrece lugares increíbles para nadar, además de tener eventos reconocidos como la villa Navideña. Se encuentra en las laderas del volcán, en donde rigen manantiales de aguas medicinales, balnearios, quebradas y espectaculares vistas de las fumarolas del Popo.

Atlixco es conocido como la ciudad de las flores pues estas son parte del paisaje cotidiano. El zócalo es una plaza de estilo arabesco, la cual alberga el Ex convento del Carmen, el cual data del siglo XVI, también cuenta, con la Capilla de la Tercera Orden, con un magnífico retablo barroco, además, el Templo y convento de Santa Clara.

## **Clima**

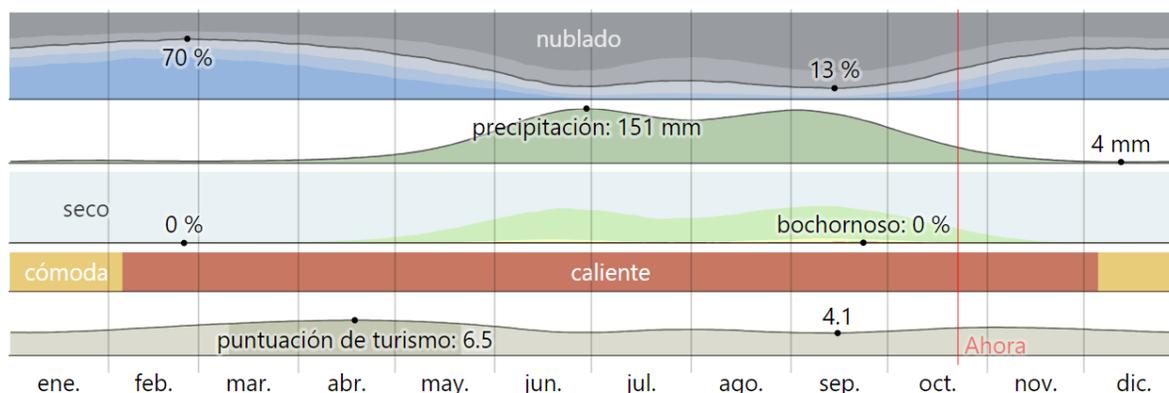
Atlixco es reconocido por su clima ideal, pues presume de disfrutar del mejor clima del mundo. Su clima corresponde a la transición entre los climas semifríos y templados del Norte del estado, a los

cálidos del sur, se describe como un clima templado con régimen de lluvias de verano y poca oscilación de temperatura.

En Atlixco la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 8°C a 28°C y rara vez baja a menos de 5°C o sube a más de 31°C. (El clima en Atlixco, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark, s. f.)

Tomando en cuenta esto y considerando que Atlixco es un lugar turístico, se considera que la mejor época del año para visitar es desde mediados de marzo hasta finales de mayo, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 1: Clima de Atlixco.

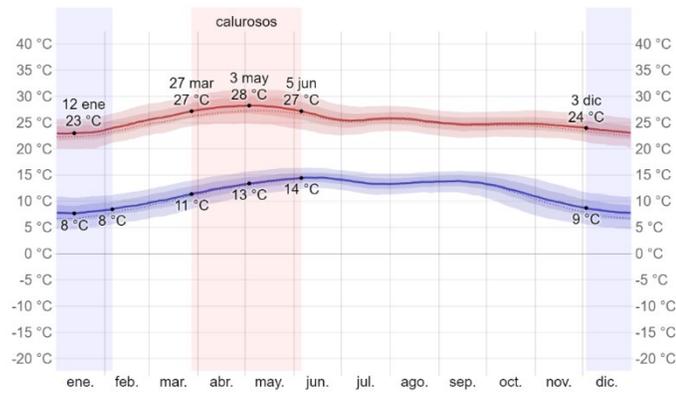


Fuente: Weather Spark (s. f.). (2023)

## Temperatura

La temporada templada dura 2.3 meses, del 27 de marzo al 5 de junio, y la temperatura máxima promedio diario es más de 27°C. El mes más cálido del año en Atlixco es en mayo, con una temperatura máxima promedio de 28°C y mínima de 14°C. Mientras, la temporada fresca dura 2.1 meses, que va del 3 de diciembre al 5 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es de menos de 24°C. El mes más frío del año en Atlixco es en enero, con una temperatura mínima promedio de 8°C y máxima de 23°C. (El clima en Atlixco, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark, s. f.) En el siguiente gráfico se muestra la temperatura máxima en línea roja y la temperatura mínima en línea azul promedio.

Gráfico 2: Temperatura máxima y mínima de Atlixco.



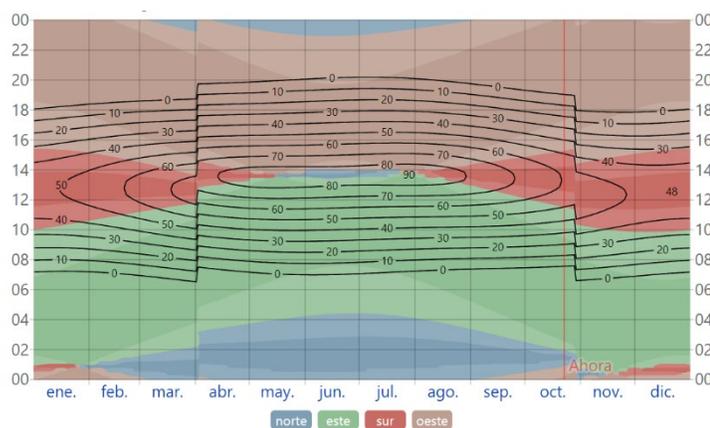
Fuente: Weather Spark (s. f.). (2023)

### Asoleamiento

La duración del día en Atlixco varía durante el año. En 2023, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 0 minutos de luz natural, mientras, que el día más largo es el 21 de junio, con 13 horas y 16 minutos de luz natural.

El siguiente gráfico es una representación compacta de la elevación del sol (el ángulo del sol sobre el horizonte) y el acimut (la orientación en la brújula) para cada hora del día del periodo que se reporta. El eje horizontal es el día del año y el eje vertical es la hora del día. En un día dado y a cierta hora de ese día, el color de fondo indica el acimut del sol en ese momento. Las isolíneas negras son el contorno de elevación solar constante.

Gráfico 3: Elevación solar y acimut de Atlixco.



Fuente: Weather Spark (s. f.). (2023)

Las líneas negras son líneas de elevación solar constante (el ángulo del sol sobre el horizonte, en grados). El color de fondo sólido indica el acimut (la orientación en la brújula) del sol. Las áreas de

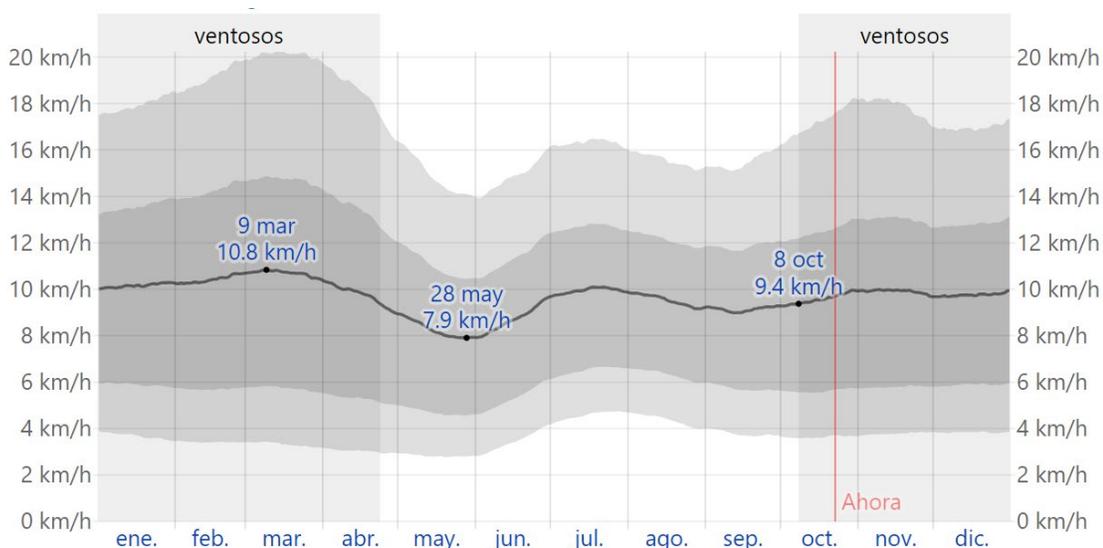
colores claros en los límites de los puntos cardenales de la brújula indican las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

## Viento

El viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Atlixco tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 6.5 mese, del 8 de octubre al 23 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 9.4 k/h. El mes más ventoso del año en Atlixco es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 10.7 k/h. El tiempo más calmado del año dura 5.5 meses del 23 de abril al 8 de octubre. El mes más calmado del año en Atlixco es mayo, con vientos a una velocidad promedio de 8.2 k/h. En el siguiente gráfico se muestra el promedio de la velocidad media del viento por hora (Weather Spark, s. f., 2023).

Gráfico 4: Velocidad promedio del viento en Atlixco.

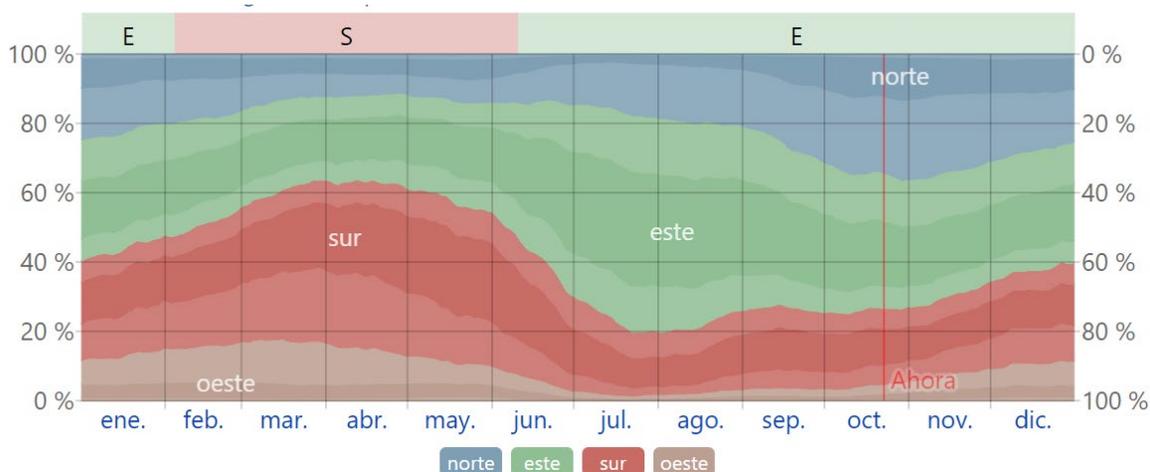


Fuente: Weather Spark (s. f.). (2023)

La dirección predominante promedio por hora del viento en Atlixco varía durante el año. El viento con más frecuencia viene del sur durante 4.2 meses, del 4 de febrero al 10 de junio, con un porcentaje máximo del 49% el 26 de abril. El viento con más frecuencia viene del este durante 7.8 meses, del 10 de junio al 4 de febrero, con un porcentaje máximo del 35% el 1 de enero (Weather Spark, s. f.). En el siguiente gráfico se muestra el porcentaje de horas en las que la dirección media del viento

viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales, excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 1.6 km/h. Las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

Gráfico 5: Dirección del viento de Atlixco.



Fuente: Weather Spark (s. f.). (2023)

### Precipitación y humedad relativa

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Atlixco varía muy considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 4.6 meses, de 24 de mayo a 11 de octubre, con una probabilidad de más del 38 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Atlixco es julio, con un promedio de 21.3 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 7.4 meses, del 11 de octubre al 24 de mayo. El mes con menos días mojados en Atlixco es diciembre, con un promedio de 0.9 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. (El clima en Atlixco, el tiempo por mes, temperatura promedio (Weather Spark, s. f., 2023).

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solo lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Atlixco es julio, con un promedio de 21.3 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 74 % el 26 de junio.

Gráfico 6: Precipitación de Atlixco.

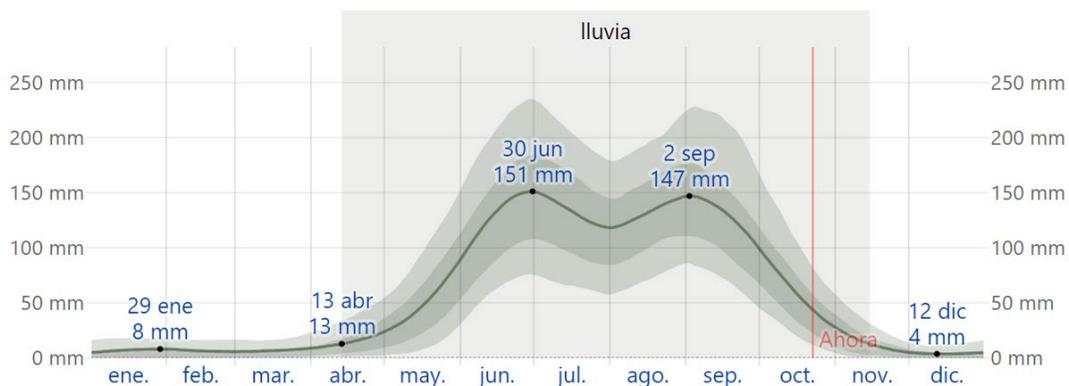


Fuente: Weather Spark, s. f. (2023)

Atlixco tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 7.0 meses, del 13 de abril al 15 de noviembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Atlixco es septiembre, con un promedio de 135 milímetros de lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 5.0 meses, del 15 de noviembre al 13 de abril. El mes con menos lluvia en Atlixco es diciembre, con un promedio de 4 milímetros de lluvia. (El clima en Atlixco, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark, s. f., 2023)

Gráfico 7: Promedio de lluvia de Atlixco.

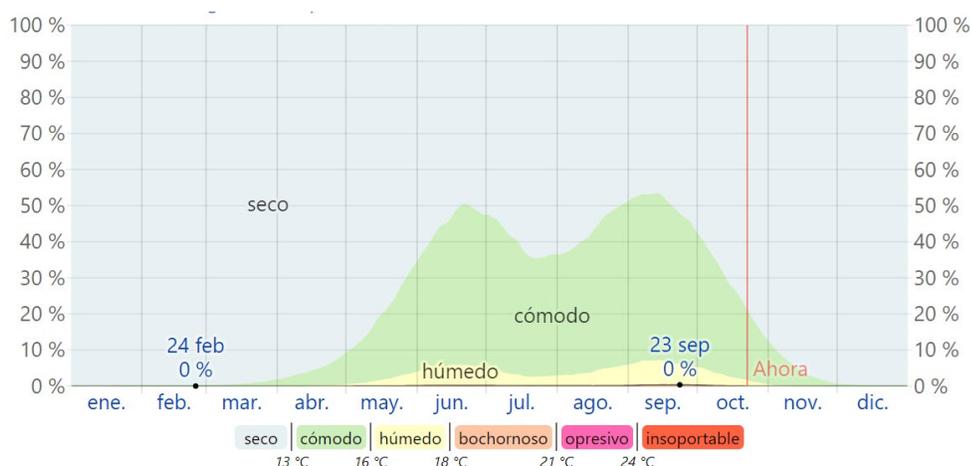


Fuente: Weather Spark, s. f. (2023)

Se baso el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Atlixco, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 %.

Gráfico 8: Niveles de comodidad de la humedad de Atlixco.

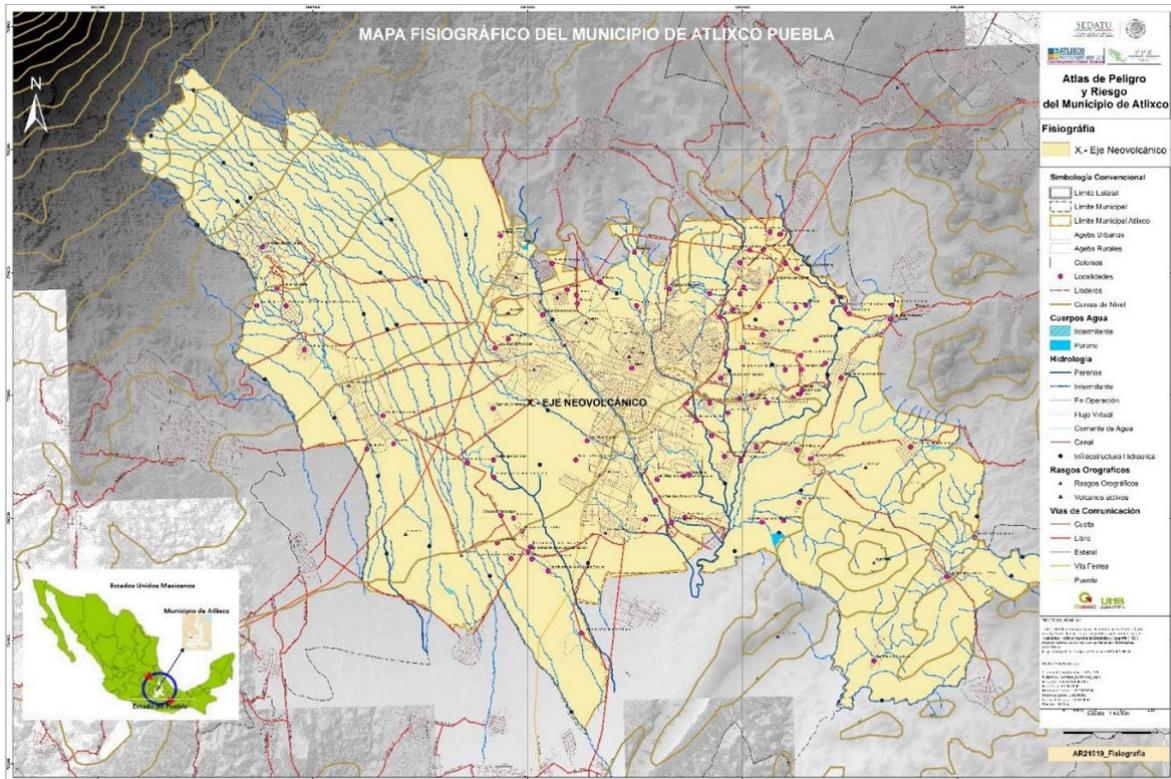


Fuente: Weather Spark, s. f. (2023)

### Condiciones fisiográficas-geomorfológicas

El municipio de Atlixco se encuentra ubicado en un área que corresponde a dos provincias fisiográficas, Provincia Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, y a la Provincia Sierra Madre del Sur, Subprovincias Sierras y Valles Guerrerenses. (Mapa 1)

Mapa 1: Fisiografía del municipio de Atlixco.

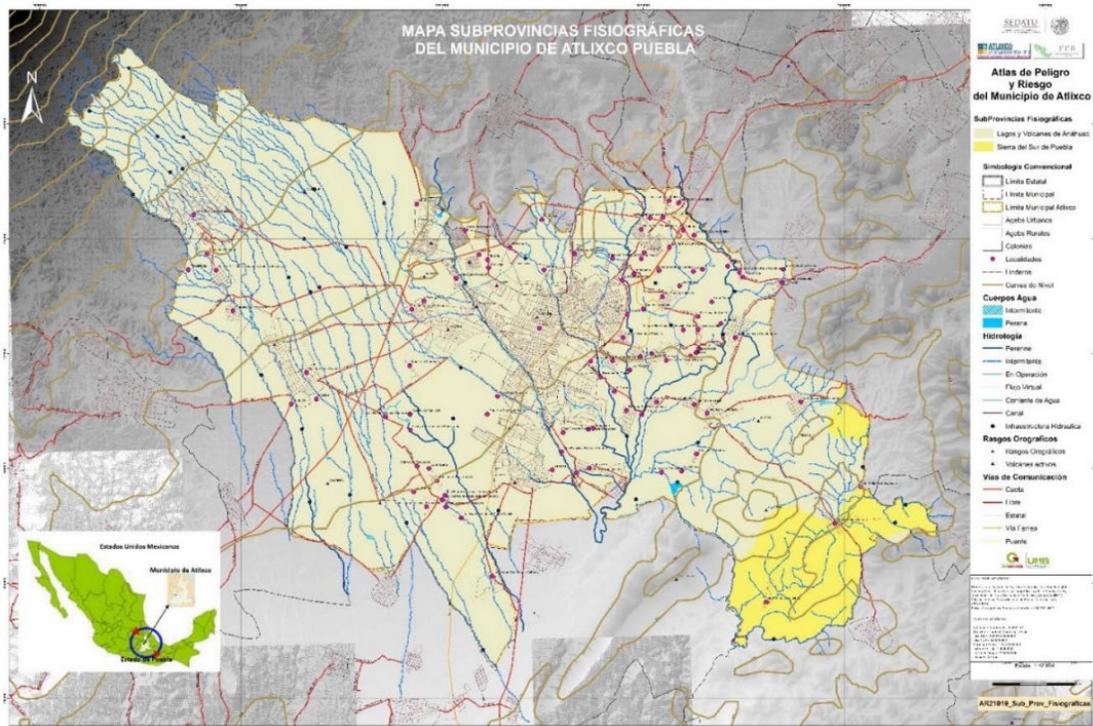


Fuente:

Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco (2016).

La subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac es la más extensa de las catorce que integran al Eje Neovolcánico. La subprovincia se extiende de poniente a oriente, desde unos 35 km al occidente de Toluca, México, hasta Quimixtlán, Puebla. Consta de sierras volcánicas o grandes aparatos individuales que alternan con amplias llanuras formadas, en su mayoría, por vasos lacustres. De oeste a este se encuentran en sucesión las cuencas de Toluca, México, Puebla y Oriental. (mapa 2)

Mapa 2: Subprovincia fisiográficas de Atlixco.



Fuente: Atlas

de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco (2016).

Esta subprovincia es la que abarca la mayor superficie del estado, ya que el 35.93% de su territorio pertenece a ella. Ocupa casi toda la parte central de la entidad, desde la Sierra Nevada hasta el Pico de Orizaba, el área de Izúcar de Matamoros y dos franjas que van desde Hueyapan y Ahuazotepec hasta la localidad de Oriental. Comprende 66 municipios completos y cubre parte de otros 35, entre ellos, Atlixco. Esta subprovincia cubre el 91.99 % del territorio de Atlixco. En esta subprovincia se localizan las tres mayores elevaciones del país: Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5,610 msnm), Popocatepetl (5,500 msnm) e Iztaccíhuatl (5,220 msnm). En las cumbres de estas elevaciones existen tres de los pocos pequeños glaciares de la región intertropical del mundo, además, entre las dos últimas, las cuales conforma a la Sierra Nevada, se localiza el Paso de Cortés, puerto orográfico relevante por su importancia histórica y su accesibilidad. Las cuencas de Puebla y Atlixco-Izúcar quedan incluidas en esta subprovincia. Estas cuencas se encuentran interrumpidas y separadas por lomeríos suaves. Provincia Sierra Madre del Sur. Esta provincia comprende 45.42% de la superficie del estado y está representada por parte de siete subprovincias: Cordillera Costera del Sur, Mixteca Alta, Sierras y Valles Guerrerenses, Sierras Centrales de Oaxaca, Sierras Orientales, Sur de Puebla y Llanuras Morelenses. Abarca la mayor parte de la porción sur de la entidad, aproximadamente desde una línea definida por los poblados de Cohuecán, Atzala, Tochimiltzingo, Santa Clara Huitziltepec, Tecamachalco y Morelos Cañada, hasta los límites con Oaxaca.

La subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses se introduce en el estado de Puebla por el suroeste, a lo largo de una franja de orientación noreste-suroeste, que se extiende desde la parte sur de la presa de Valsequillo, hasta el extremo suroeste del estado. Comprende 9.84% de la superficie total estatal, superficie que pertenece a los municipios de Jolalpan, Cohetzala, Epatlán, Ahuatlán, Coatzingo, San Martín Totoltepec y Xochiltepec; así como a porciones de los de Teotlalco, Huehuetlán el Chico, Chiauhtla, Chietla, Izúcar de Matamoros, Tepeojuma, Huaquechula, Atlixco, Ocoyucan, San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Teopantlán, Huehuetlán el Grande, Tzicatlacoyan, Cuayuca de Andrade, Tehuitzingo y Xicotlán. Esta subprovincia cubre el 8.01% del territorio de Atlixco. Provincia Eje Neovolcánico. Esta provincia abarca el 38.26% del territorio estatal. Dentro del estado de Puebla se encuentran áreas que forman parte de tres subprovincias del Eje Neovolcánico: Lagos y Volcanes de

Anáhuac, Chiconquiaco y Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo. (Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco 2016.)

### **Topografía**

Las coordenadas geográficas de Atlixco son latitud: 18.908°, longitud: -98.436°, y elevación: 1,846 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de Atlixco tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 251 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1,858 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (1,254 metros). En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (4,589 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de Atlixco está cubierta de tierra de cultivo (65 %) y superficies artificiales (35 %), en un radio de 16 kilómetros de tierra de cultivo (63 %) y arbustos (20 %) y en un radio de 80 kilómetros de tierra de cultivo (45 %) y árboles (27 %). (Weather Spark, s. f., 2023)

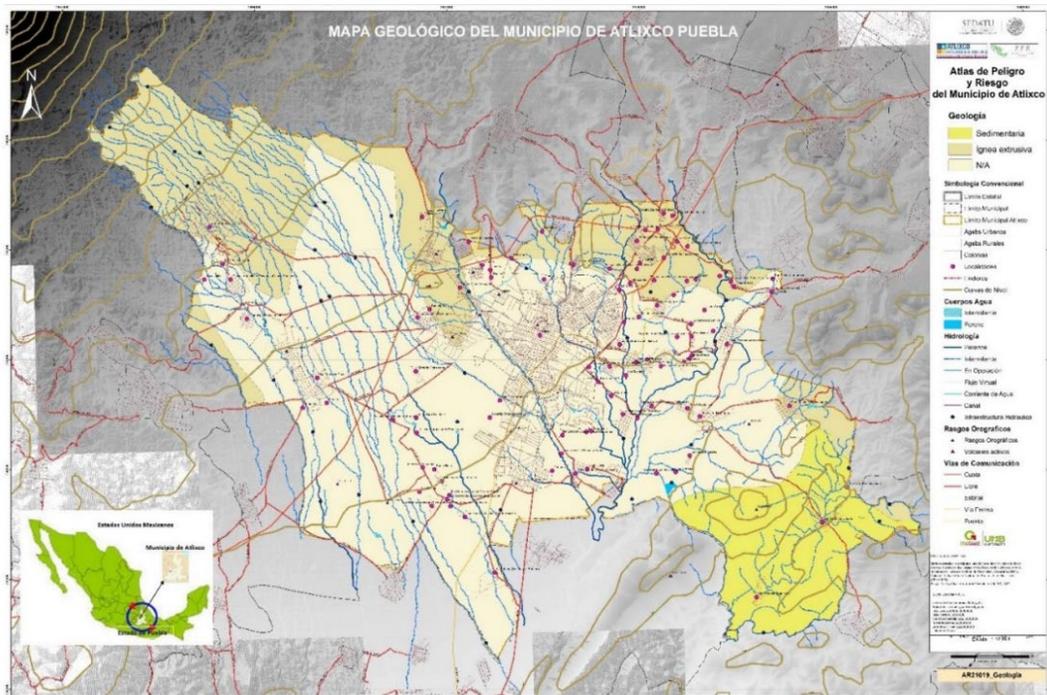
### **Geología.**

El territorio municipal está constituido por tres clases litológicas: rocas ígneas, rocas sedimentarias y suelos aluviales. (mapa 3) Las rocas ígneas extrusivas, formadas por el enfriamiento rápido del magma en superficie o cerca de ella, están compuestas casi en su totalidad por silicatos. En la zona se encuentran rocas ígneas extrusivas tipo andesita, dacita, basalto, toba intermedia y volcanoclástico del Cenozoico Neógeno y, andesita, basalto y toba básica, del Cenozoico Cuaternario. Estas rocas abarcan en conjunto 8,310 hectáreas.

El área que corresponde al volcán Popocatepetl está formada litológicamente por rocas ígneas extrusivas tipo andesitas y toba básica. El área de la llanura aluvial con lomerío que se localiza al norte de la cabecera municipal se caracteriza por la presencia de lomeríos suaves formados por rocas ígneas extrusivas: tipo toba intermedia en el cerro La Leona y alrededores de Metepec; tipo andesita y volcanoclástica al sur de Metepec y; tipo volcanoclásticas el cerro ubicado al norte de la localidad de Santa Lucía Cosamaloapan. Las rocas de origen sedimentario cubren 9,083 hectáreas. Se encuentran rocas sedimentarias tipo caliza del Mesozoico Cretácico, conglomerado del Cenozoico Paleógeno y Cenozoico Cuaternario y limotita-arenisca del Cenozoico Terciario.

Los suelos aluviales o aluviones son depósitos aluviales recientes, del Cenozoico Cuaternario (el término se refiere a material no consolidado). Están constituidos por detritos de las diversas rocas presentes en la región. Estos materiales, transportados y depositados por el agua en los canales de las corrientes y en las planicies inundables, ocupan las dos terceras partes de la superficie total de la zona de estudio, 17,090 hectáreas. La llanura aluvial está compuesta fundamentalmente por suelos aluviales, encontrándose dos áreas formadas por rocas sedimentarias tipo conglomerado, la primera en las estribaciones del cerro La Leona y, la segunda del cerro Zoapiltepec.

Mapa 3: Geológico de Atlixco.



Fuente: Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco (2016).

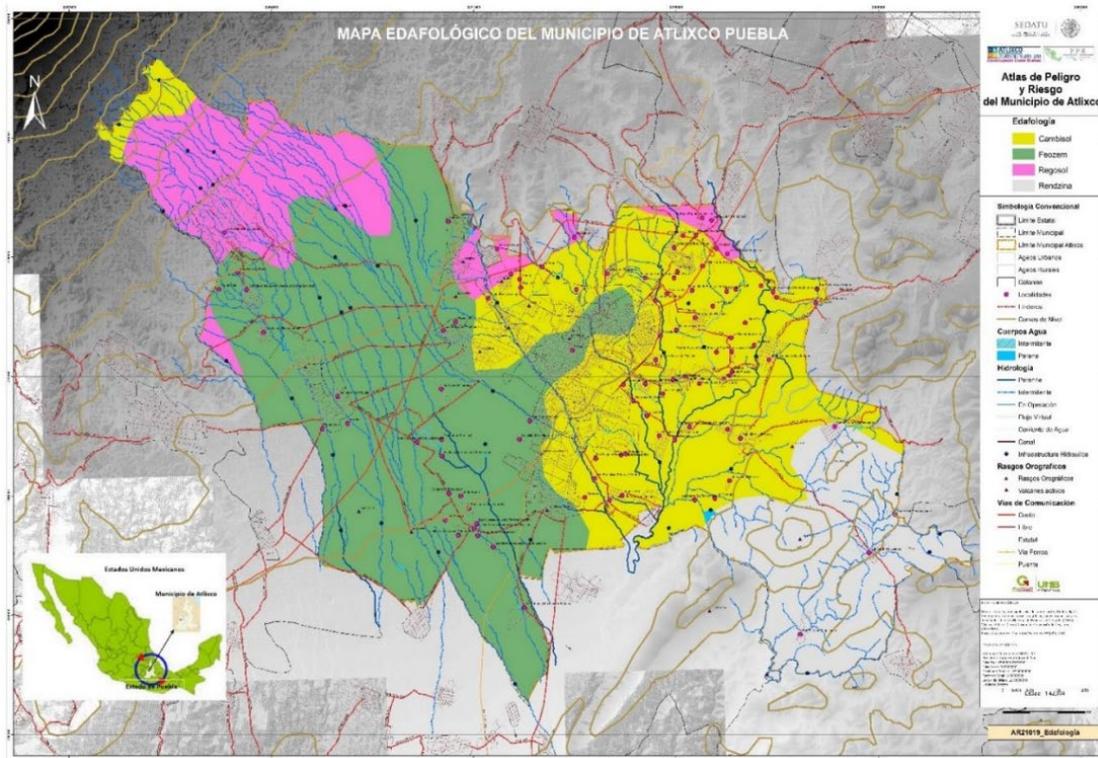
## Edafología

El análisis edafológico incluye estudios de planeación urbana que tienen como propósito fundamental determinar el potencial aprovechamiento de los suelos de un territorio determinado reconociendo aquellos que pueden ser utilizados para el desarrollo urbano como aquellos que por sus características son potencialmente aprovechables para usos distintos al urbano y que constituyen la base de la sustentabilidad a largo plazo de estos territorios. El suelo es un cuerpo natural, distribuido como un continuo en el paisaje con variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra.

La función más conocida y utilizada de los suelos es la de soporte y suministro de nutrientes para las diversas asociaciones vegetales naturales y los cultivos, un resultado de este tipo de análisis es la clasificación de los suelos según este criterio y que presentamos como resultado parcial en el apartado correspondiente al análisis de aptitud del suelo.

el suelo es el hábitat de una gran diversidad de organismos así mismo en los ecosistemas urbanos, el suelo juega un papel importante en los bancos de materiales, como cimiento para la infraestructura urbana pues dependiendo de sus características las obras que se realizan en la ciudad. Los suelos son una pieza clave en cuanto al soporte de todos los ecosistemas terrestres, determinando su funcionamiento y productividad. En este sentido la información edafológica es la base de la evaluación y manejo sustentable de las tierras. (mapa 4)

Mapa 4: Edafología de Atlixco.



Fuente: Atlas

de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco (2016).

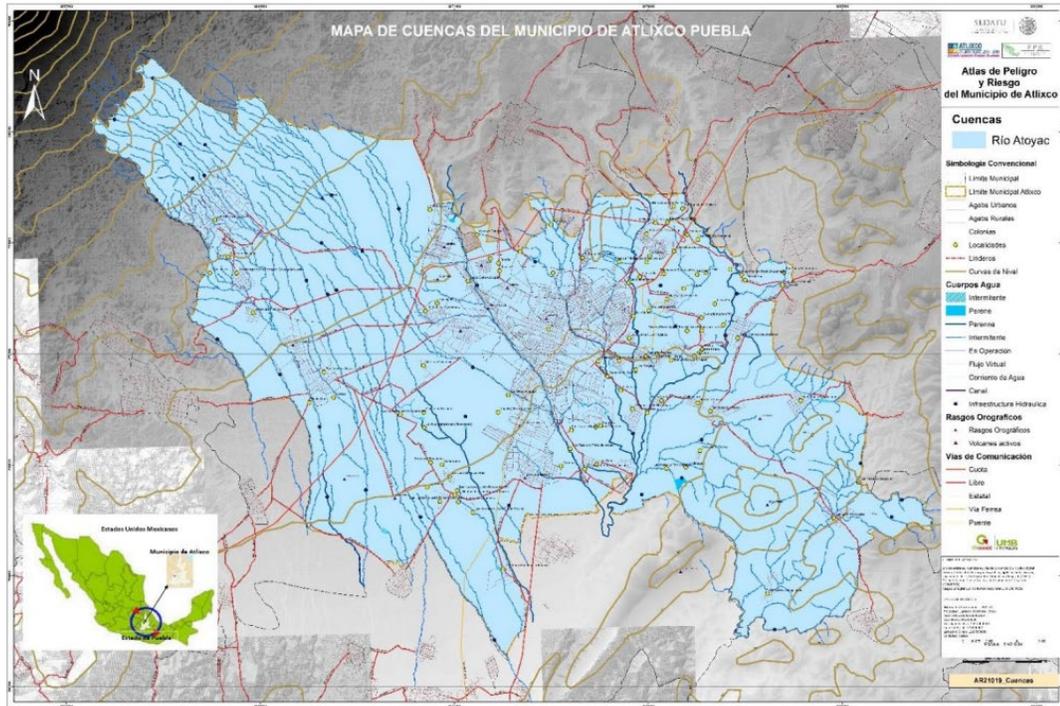
## Hidrografía

El municipio se encuentra comprendido dentro de la Región Hidrológica (RH-18) Río Balsas, Subregión hidrológica del Alto Balsas, Cuenca del Río Atoyac (mapa 5) y Subcuenca del río Nexapa.

La cuenca de drenaje del río Balsas se localiza entre los paralelos  $17^{\circ} 13'$  y  $20^{\circ} 04'$  de latitud Norte y los meridianos  $97^{\circ} 25'$  y  $103^{\circ} 20'$  de longitud Oeste; comprende el 6% del territorio mexicano con una superficie hidrológica total de  $117,405 \text{ km}^2$  a través de ocho estados de la República. La cuenca del río Balsas se divide en tres subregiones hidrológicas principales: la Cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco o del Alto Balsas; la Cuenca del río Cutzamala y del Medio Balsas y Cuenca del Bajo Balsas. La Cuenca del Alto Balsas, que se subdivide a su vez en siete subcuencas: Cuencas Cerradas Orientales, Alto Atoyac, Bajo Atoyac, Nexapa, Amacuzac, Tlapaneco y, Mixteco. La corriente superficial más importante que escurre por el municipio de Atlixco es el río Nexapa. El río nace en la falda oriental del Popocatepetl a unos 20 km al norte de la ciudad de Atlixco, es un río de régimen permanente, alineado en su porción alta por los deshielos del volcán, solo que pocos kilómetros debajo de su nacimiento derivan sus aguas a través de un canal, cuyo nombre va cambiando, en este sitio es conocido como Los Molinos, estimándose un gasto de 400 litros por segundo. Sobre su

porción occidental, recibe aportaciones del Río Cantarranas y de las barrancas La Leona y Cuescomate. El río Cantarranas se inicia donde nacen los manantiales de San Baltazar Atlimeyaya, cuyas aguas son conducidas por el canal Catecuxco con un gasto estimado de 1 m<sup>3</sup>/s.

Mapa 5: Cuencas de Atlixco



Fuente: Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Atlixco (2016).

## Vegetación

Las características geográficas del Municipio de Atlixco determinan los tipos de ecosistemas que se desarrollan en el área. Ecológicamente, se ubican tres regiones con condiciones distintas que ocasionan diferentes tipos de hábitats. Al noroeste, donde se presentan las temperaturas más bajas del Municipio, debido a su cercanía con el volcán Popocatepetl y donde la orografía es marcada por la inclinación ascendente del volcán se encuentra el Bosque de oyamel y pino en las partes más altas, con algunas asociaciones de pino y encino en las partes bajas.

La parte central presenta el clima más representativo de todo el Municipio, predominantemente templado con tierras fértiles, propias para la agricultura; sin embargo, por ser la zona donde se ha establecido la ciudad y los principales asentamientos humanos, los ecosistemas originales no han

sobrevivido y sólo encontramos fauna de tipo doméstica como ganado bovino, porcino y caprino, perros, gatos y algunas aves de corral.

La región más calurosa del Municipio se encuentra hacia el sureste, formada por un macizo montañoso compuesto, en su mayoría, por roca caliza, donde se presentan desde asociaciones de tipo de selva baja caducifolia hasta matorrales de palma y pastizales, éstos últimos en zonas que han sido alteradas por el hombre.

La superficie con vegetación abarca 8,622 ha, 25% de la superficie total. En esta superficie están presentes 7 tipos de vegetación: bosque de oyamel de desarrollo, 187 hectáreas, bosque de pino, 996 ha; bosque de pino encino, 845 hectáreas; bosque de encino, 5,286 hectáreas; bosque de encino pino, 57 hectáreas; palmar inducido, 1,140 hectáreas; pastizal inducido, 425 hectáreas. Según su desarrollo, la vegetación primaria ocupa 1,810 hectáreas, 21% de la superficie con vegetación y, la vegetación secundaria, 6,812 hectáreas.

Las serranías meridionales que bordean la depresión del río Balsas forman parte del centro primario mundial de diversidad de los pinos (*Pinus* spp.) y del centro primario de diversidad del hemisferio occidental de los encinos (*Quercus* spp.). La Faja volcánica transmexicana y la Sierra Madre del Sur han jugado un papel fundamental en la historia evolutiva de ambos géneros. La enorme variedad de microhábitat de estas cadenas montañosas ha permitido la radiación adaptativa de numerosas especies (Challenger 1998).

La diversidad de pinos y encinos de esta zona ecológica alcanza en efecto niveles sorprendentes. De las 450 especies de encinos que se estima existen en el mundo, en esta zona crecen, por lo menos, de 135 a 173, esto es, del 30% al 38% (Nixon 1998). De las 173 especies de encinos identificadas en México, 115 son endémicas. La diversidad de los pinos mexicanos llega a 49 especies, la mayoría de ellas endémicas, lo que representa aproximadamente 50% de la diversidad mundial de este género. Por ello, México ha sido reconocido como uno de los mayores centros mundiales de diversidad de estos géneros, característicos de los bosques templados de la cuenca del río Balsas (Styles 1998, Challenger 1998). El endemismo de los bosques de pino y encino es también excepcional: las especies endémicas equivalen al 70% de la flora de esta zona ecológica (Rzedowski 1986).

Los bosques de pino y encino albergan más del 10% de las especies de la familia Asteraceae conocidas en el mundo, de las cuales más del 60% son endémicas. La región más importante de diversidad de estas especies es el centro-sur de México, especialmente la Sierra Madre del Sur (con

unas 356 especies endémicas) y la Faja volcánica transmexicana (con unas 377 especies endémicas) (Turner y Nesom 1998). De las 312 especies de *Salvia* (más del 35% de todas las especies de este género en el mundo), cuya mayoría crece en el hábitat del bosque de pino y encino, 270 especies son endémicas (alrededor del 86%). Otra familia, la Agavácea, especialmente el género *Agave*, alcanza su máxima diversidad en México y en el mundo, en la Faja volcánica transmexicana.

## **Predio**

Ubicación: Calle Emiliano Zapata 833-779,74240 Atlixco, Puebla.

El estudio de mecánica de suelos sirve para determinar el conjunto de características que nos permiten obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

Las pruebas realizadas en este estudio de mecánica de suelos fueron determinadas por tres factores principalmente. Las facilidades con que cuenta el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Las Américas. En segundo lugar, por el uso que se les dará a los terrenos donde se llevó a cabo el estudio, que es la construcción de un Instituto de seguridad alimentaria y desnutrición. Y, por último, el análisis de los puntos de discrepancia entre los estudios previamente realizados.

El procedimiento de prueba utilizado en los diferentes ensayos de laboratorio fue indicado por el personal del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de las Américas, Puebla. Dicho procedimiento se apega a la normativa del Instituto Mexicano del Transporte, adecuándolo a las instalaciones propias del laboratorio.

## **Características Geológicas y Geográficas del Sitio**

El terreno donde se localiza el predio donde se pretende realizar el proyecto, se ubica en Atlixco, Puebla Atlixco, es conocido por el cultivo de flores, es un lugar lleno de colores, además de ser conocido como pueblo mágico convirtiéndose así en un lugar turístico. Es el municipio número 19 de los 217 municipios que conforman al estado de Puebla y se ubica al Suroeste de la ciudad capital cuya distancia es de 32 km de esta y extensión territorial de 229 km<sup>2</sup>. Tiene una altitud promedio de 1840m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 49' 30" y 18° 58' 30" de latitud norte y los meridianos 98° 18' 24" y 98° 33' 36" de longitud occidental. El predio se encuentra ubicado en las provincias de Atlixco, en la calle Emiliano zapata, 833-779, 74240, Atlixco, Puebla, esta es una de las calles que se utiliza para acceder al municipio. Se encuentra sobre un terreno sensiblemente plano con un cauce, que se encontraba como terreno baldío.



Imagen 1: Vista del predio desde el cauce.



Imagen 2: Vista del predio desde la calle Emiliano zapata.



Imagen 3: Localización del predio.

### **Sondeo y extracción de muestra**

El objetivo de la investigación exploratoria es el de poder determinar información precisa de las características de suelo en el lugar en que se investiga. Tal como la profundidad, espesor, extensión y composición de cada uno de los estratos; la profundidad de agua subterránea.

Los sondeos para la extracción de muestras se hicieron mediante pozos a cielo abierto. Se abrieron dos pozos de aproximadamente 1.5 metros de profundidad en el predio donde se llevará a cabo la construcción. En ambos pozos encontramos el perfil que se encuentra en la imagen 4, dichos espesores se describen a continuación:

El terreno superficial se conformaba de una capa de 30 cm de espesor, constituida de una capa vegetal, seguido de una capa de 1.20 m de un suelo arcillas limosas de baja plasticidad.

El primer estrato que consideramos se encuentra a 20 cm de la superficie del terreno, este corresponde a una capa vegetal.

El segundo estrato se encuentra después de los 30 cm hasta los 1.50 que fue la profundidad en que se realizó el pozo a cielo abierto. Esta es un suelo arcilloso lamoso de baja plasticidad, con un color café.



Imagen 4: excavación de pozo a cielo abierto.

### **Trabajos de laboratorio**

#### **Relaciones Gravimétricas y Volumétricas**

Todos los suelos se componen de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está constituida por las partículas minerales, la parte líquida está representada principalmente por agua, y la gaseosa por aire (Juárez y Rico, 2004). Todas las fases ocupan un determinado volumen, y representan un determinado peso, con respecto al total de una muestra. Las relaciones entre el peso de las distintas fases constituyentes del suelo y el volumen que estas ocupan dan lugar a las relaciones gravimétricas y volumétricas.

Es posible determinar estas relaciones en el laboratorio mediante métodos relativamente sencillos y son de gran importancia dentro de la mecánica de suelos, ya que son necesarias para la correcta aplicación de las distintas teorías y brindan significado y sentido físico a las distintas propiedades mecánicas del suelo.

### **Peso Volumétrico**

El peso volumétrico en estado natural del suelo o peso específico de la masa de suelo es la relación entre el peso del mismo y el volumen que ocupa.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Donde:  $W_m$ : es la masa del suelo.

$V_m$ : es el volumen total de la muestra de suelos.

El procedimiento de laboratorio que utilizamos para la determinación del peso específico fue mediante el labrado de muestras de suelo, en forma de cuerpos bien

definidos, en este caso cilindros como los tubos muestreadores, para la determinación del volumen, midiendo físicamente todas sus dimensiones. Y pesándolas posteriormente.

a)



b)



Imagen 5: a) labrado de muestras; b) medición de muestras labradas.

Los pesos volumétricos obtenidos para cada estrato se muestran en la tabla 1.

### **Determinación de la Humedad Natural**

El contenido de agua de un suelo o contenido de humedad es la relación entre el agua

contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, y se expresa en forma de porcentaje. Este puede variar entre 0 e  $\infty$  dependiendo de las condiciones de humedad del sitio donde se localice el suelo. (Juárez, Rico, 2004 p.54) La cantidad de agua se obtiene mediante la diferencia de peso entre el suelo en estado natural y el suelo secado en horno. La relación que expresa la humedad de un suelo es la siguiente.

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:  $W_w$ : es el peso del agua.

$W_s$ : es peso del suelo seco.

Los resultados que obtuvimos de esta prueba para los diferentes estratos se presentan en la siguiente tabla 1.

### **Peso específico relativo de sólidos $S_s$ .**

El peso específico relativo, se define como el peso específico del suelo con respecto al peso específico del agua a 4°C, destilada y sujeta a presión atmosférica (Juárez, Rico, 2004p.53).

$$S_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

Donde:  $W_s$  : peso de los sólidos.  
 $V_s$  : volumen de los sólidos.  
 $W_o$  : peso del agua.  
 $V_o$  : volumen del agua.

Para determinar este parámetro se utilizó un procedimiento donde prácticamente se igualen los volúmenes de agua y de suelo, mediante un matrás de volumen definido, quedando la ecuación expresada en función de los pesos, de la siguiente forma.

$$Ss = \frac{Ws}{\frac{Ws + Wfw - Wfsw}{Wfsw}}$$

Donde :  $W_{fw}$  = peso del matrás + agua.

$W_{fsw}$  = peso del matrás con agua y suelo.

El Procedimiento de prueba consiste en llenar un matrás cuyo volumen está bien definido mediante una marca de enrase, con agua destilada ( $W_{fw}$ ), posteriormente llenar el mismo matrás con agua y 50gr. de suelo y agua destilada ( $W_{fsw}$ ). A este matrás se le debe absorber el aire atrapado entre las partículas de suelo mediante una bomba de vacío.

La diferencia de peso entre los dos matraces es el peso del agua desplazada por el suelo, siempre y cuando no haya variación en la temperatura del agua, lo que afectaría su densidad.



**Figura 3.8.** Determinación del peso específico relativo de sólidos  $S_s$ .

Este procedimiento lo aplicamos a los estratos 3 y 4, debido a que son los de mayor importancia para este proyecto, obteniendo los siguientes resultados, los resultados se reportan en la tabla 3.1.

### Relación de Vacíos.

Otra de las relaciones que calculamos fue la relación de vacíos, oquedad o índice de poros, esta se define como la relación que existe entre el volumen de vacíos y el de sólidos del suelo (Juárez, Rico, 2004 p.54).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

donde: e: es la relación de vacíos  
 $V_v$  : es el volumen de vacíos  
 $V_s$  : es el volumen de sólidos

Ya que

$$V_s = \frac{W}{S} = \frac{S_s}{\gamma}$$

y  $V_v = V_m - V_s$

Entonces pudimos determinar la relación de vacíos, de los estratos 3 y 4, los resultados se encuentran reportados en la tabla 3.1

**Tabla 3.1.** Relaciones volumétricas y gravimétricas para cada estrato.

Estrato	Peso volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )	Contenido natural de Agua (%)	Peso específico relativo de Sólidos $S_s$	Relación de vacíos $e$
1	1.412	10.11	--	--
2	1.399	27.13	--	--
3	1.716	50.25	2.4	1.102
4	1.495	36.73	2.7	1.468

## Clasificación

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos. Actualmente la clasificación de suelos está basada en las propiedades mecánicas de los suelos.

El sistema que utilizamos para la clasificación de los distintos estratos fue el *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)*, el cual deriva directamente del Sistema de Clasificación de Aeropuertos, propuesto en 1942 por el Dr. Arturo Casagrande, en la universidad de Harvard, y orientado hacia obras aeroportuarias, (Juárez y Rico, 2004).

El SUCS, es actualmente el sistema más empleado en el mundo, y funciona dividiendo el suelo en dos grandes grupos. El primer grupo es la fracción “gruesa”, que esta conformada por las partículas mayores a la malla #200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual esta conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200.

Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla 200. Los suelos gruesos se subdividen en:

- a) gravas de símbolo genérico G.
- b) arenas, de símbolo genérico S.

Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla, El material que pasa la malla #4 y es retenido en la malla # 200, es una arena.

Estos grupos G y S, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos. De esta forma a cada grupo formado se le asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas.

Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla # 200, se dice que el suelo es fino. De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (IP). Estos tres grupos son:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico *M*.
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo *C*.
- c) Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico *O*.

Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (LL), esta segunda letra puede ser *H*, para una alta compresibilidad o *L*, para baja compresibilidad.

Las divisiones entre los grupos de suelos finos son claramente definidos en la carta de plasticidad.

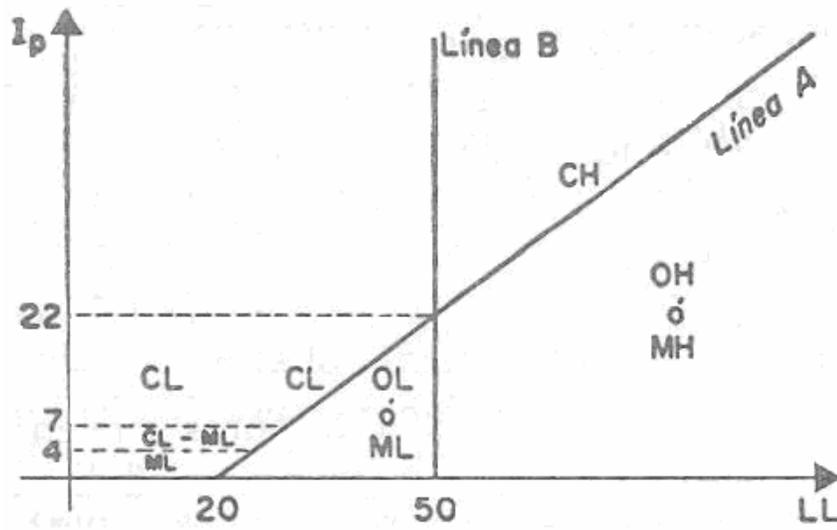


Figura 3.9. Carta de plasticidad, Juárez Badillo, Rico Rodríguez, Tomo 1, capítulo VII Pp.155

## Granulometría

Como ya hemos visto, la granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos. La estabilidad de un suelo depende de su cantidad de vacíos, mientras esta sea menor mejor será el comportamiento del mismo. Para lograr que los vacíos de un suelo sean reducidos al mínimo es necesario que el material tenga una gama de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas mas pequeñas.

La forma de medir el tamaño de las partículas del suelo grueso es mediante el cribado, consiste en pasar el material a través de una sucesión de mallas de aberturas distintas, y pesar el material retenido en cada malla, expresándolo en forma de porcentaje respecto al peso total de la muestra.

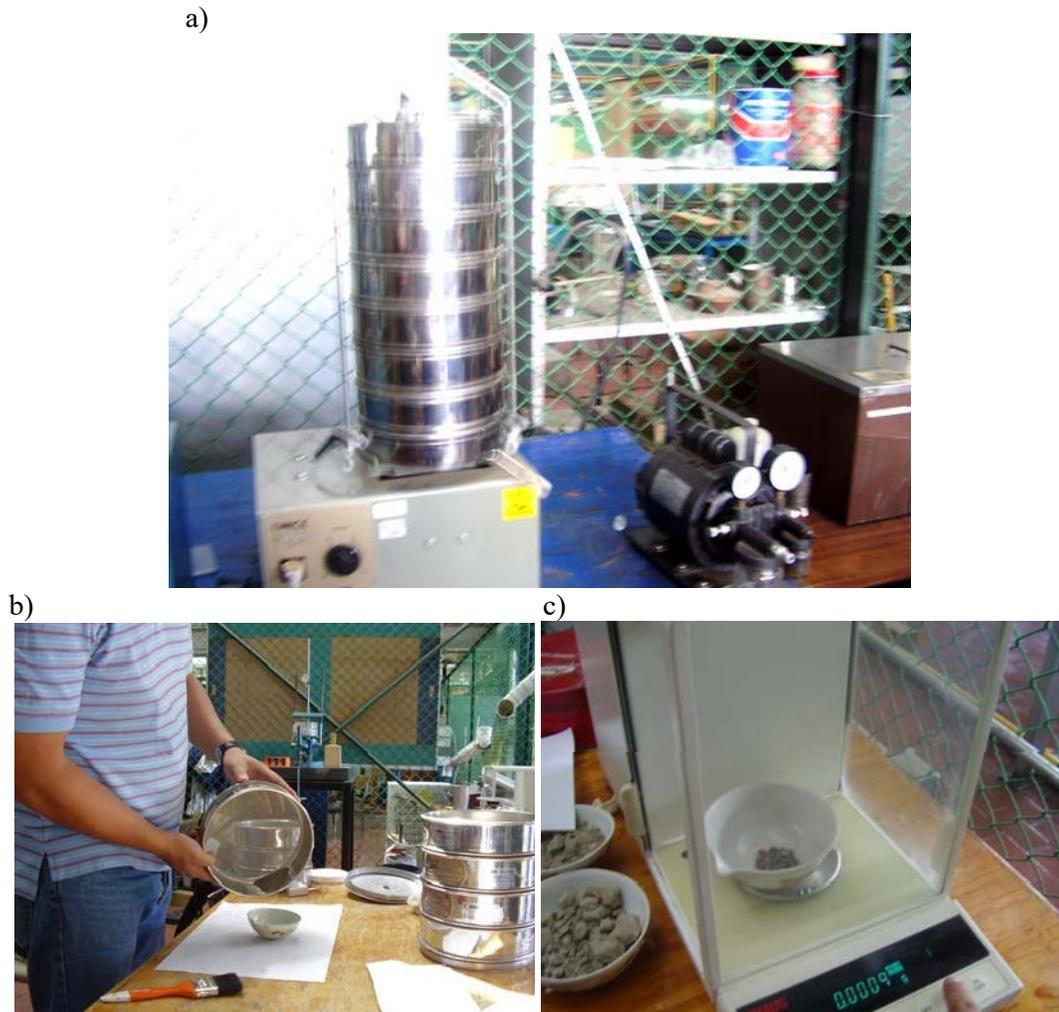
Nosotros realizamos el análisis granulométrico simplificado, al cual nos permite eliminar una serie de mallas, cuyo tamaño es apreciablemente mayor al tamaño máximo del suelo. De esta forma utilizamos las mallas num.4, 8, 16, 30, 50, 100, y 200.

El procedimiento de cribado es aplicable solamente a las partículas gruesas del suelo, es decir a las mayores a 0.075mm, representada por la malla número 200. Debido a esta condición, primeramente separamos las partículas gruesas de las finas a través de un lavado, el cual consiste en mezclar el suelo con agua, permitiendo que las partículas finas queden suspendidas en el liquido y se filtren a través de la malla N° 200, el análisis granulométrico para las partículas finas se determinó por medio de la prueba del hidrómetro, el cual describiéremos mas adelante.



**Figura 3.10.** Lavado de muestras, a través de la malla #200.

Posteriormente, se sometió a un proceso de secado, el material retenido en la malla, para después pasar al proceso de cribado y pesado.



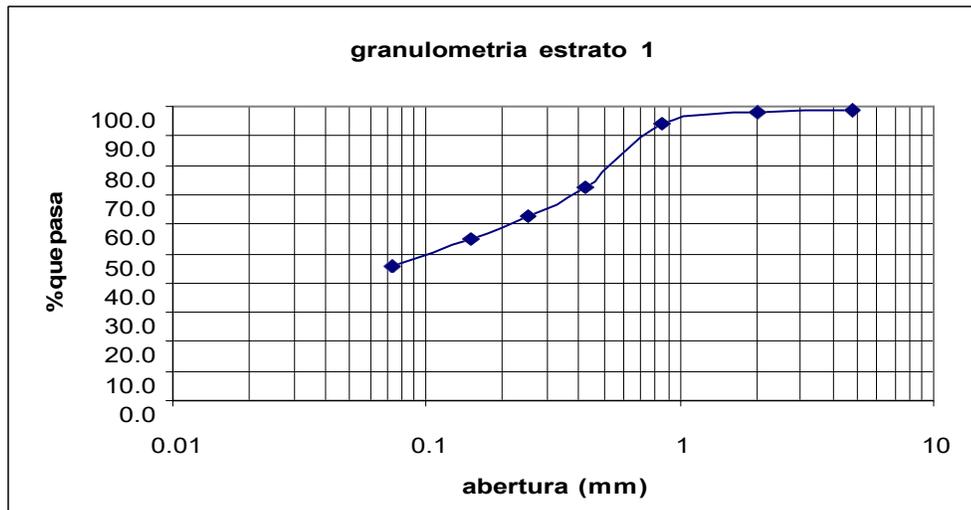
**Figura 3.11.** a–c proceso de cribado y pesado del material, en la prueba de granulometría.

Después del cribado obtuvimos las siguientes curvas granulométricas de los distintos estratos.

**Tabla 3.2.** Granulometria estrato 1.

<b>Estrato 1</b>					
Peso total (gr.)	# Malla	Peso retenido (gr.)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa la malla
	4	4.87	1.218718719	1.219	98.78
<b>399.6</b>	8	2.23	0.558058058	1.777	98.22
	16	15.36	3.843843844	5.621	94.38
	30	87.49	21.89439439	27.515	72.48
	50	39.43	9.867367367	37.382	62.62
	100	29.57	7.3998999	44.782	55.22
	200	36.59	9.156656657	53.939	46.06
	<200	183.47	45.91341341	99.852	
	Σ	<b>399.01</b>	<b>99.85</b>		

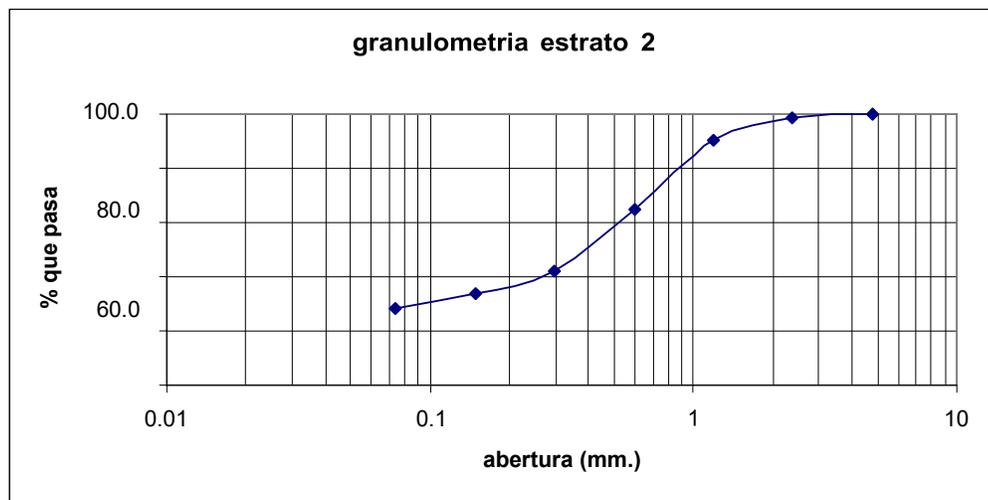
Grava	1.2%
Arena	52.7%
Finos	46.1%



**Tabla 3.3.** Granulometría estrato 2

<b>Estrato 2</b>					
	# malla	peso (gr.)	% peso retenido	% peso retenido acumulado	% que pasa la malla
peso total (gr.)		(gr.)			
285.6	4	0.505	0.18	0.18	99.82
	8	3.495	1.22	1.40	98.60
	16	24.398	8.54	9.94	90.06
	30	72.147	25.26	35.20	64.80
	50	65.881	23.07	58.27	41.73
	100	22.87	8.01	66.28	33.72
	200	16.201	5.67	71.95	28.05
	<200	80.02	28.02		
	Σ	285.517	<b>99.97</b>		

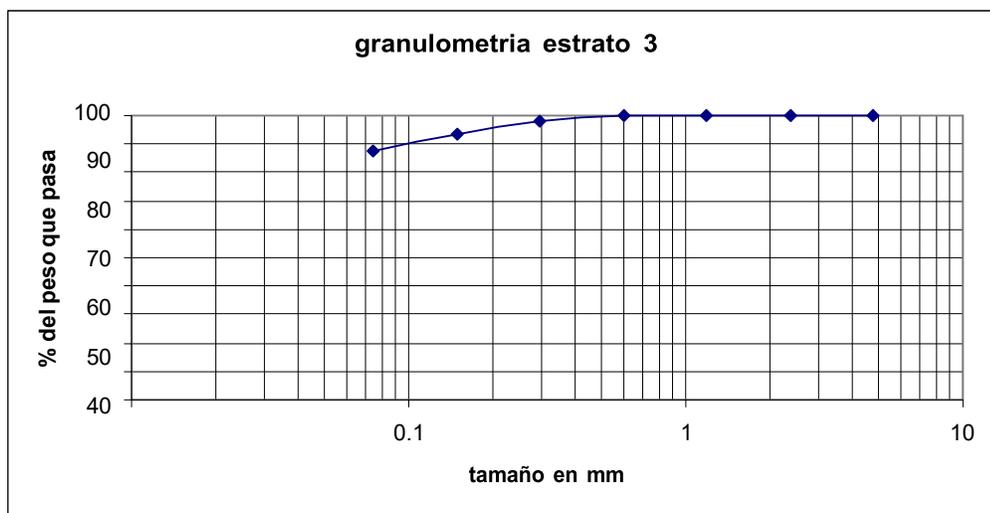
Grava	0.2%
Arena	71.8%
Finos	28.0%



**Tabla 3.4.** Granulometría Estrato 3

<b>Estrato 3</b>					
	# malla	peso retenido	% peso retenido	% peso retenido acumulado	% que pasa
peso total (grs)		(grs)			la malla
	4	0	0.00	0.00	100.00
<b>428.4</b>	8	0	0.00	0.00	100.00
	16	0.13	0.03	0.03	99.97
	30	1.267	0.30	0.33	99.67
	50	6.816	1.59	1.92	98.08
	100	20.84	4.86	6.78	93.22
	200	25.5	5.95	12.73	87.27
	<200	372.18	86.88		
	$\Sigma$	<b>426.733</b>	<b>99.61</b>		

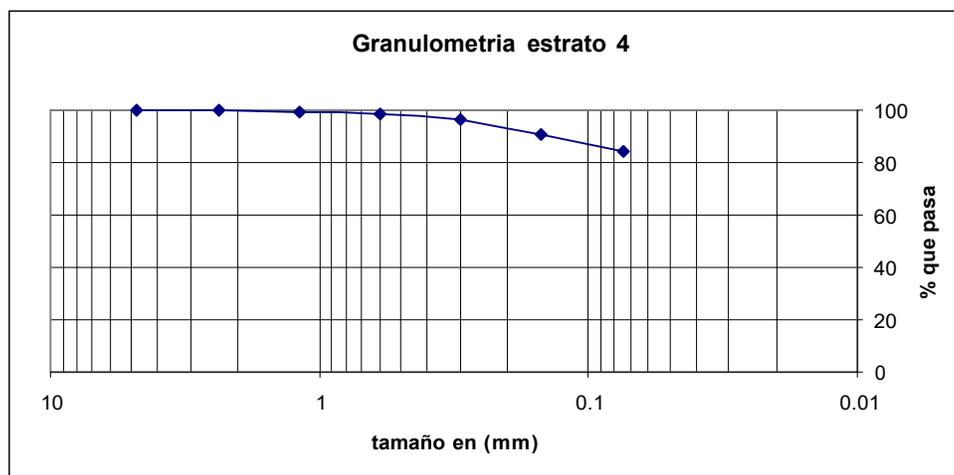
Grava	0%
Arena	12.7%
Finos	87.3%



**Tabla 3.5.** Granulometría estrato 4

<b>Estrato 4</b>					
peso total (grs)	# malla	peso retenido (grs)	% peso retenido	% peso retenido acumulado	% que pasa la malla
	4	0	0.00	0.000	100.00
<b>293.6</b>	8	0.388	0.13	0.132	99.87
	16	0.934	0.32	0.450	99.55
	30	2.024	0.69	1.140	98.86
	50	6.121	2.08	3.224	96.78
	100	17.69	6.03	9.250	90.75
	200	19.77	6.73	15.983	84.02
	<200	246.65	84.01		
	Σ	<b>293.577</b>	<b>99.99</b>		

Grava	0%
Arena	16%
Finos	84%



## **Prueba del Hidrómetro.**

La prueba del hidrómetro tiene como propósito determinar el tamaño de las partículas menores a 0.075mm (malla 200), esta prueba está basada en la ley de Stokes, que dice que la velocidad de sedimentación de las partículas disueltas en un fluido es función de su tamaño. Aplicando esta ley a la mecánica de suelos, podemos determinar el diámetro equivalente de una partícula de suelo, en función de la velocidad con la que esta se sedimenta en una suspensión. Dichas velocidades pueden obtenerse midiendo el peso específico relativo de una suspensión de suelo, a una misma profundidad y en distintos tiempos. (Juárez, Rico, 2004)

Se debe considerar que la teoría supone las partículas de suelo como equidimensionales, (esféricas), y por eso obtenemos el diámetro equivalente de la partícula, sin embargo en la mayoría de los suelos finos, la forma de las partículas es laminar, y el tamaño de la partícula puede variar considerablemente respecto al diámetro obtenido. No es raro obtener curvas granulométricas iguales para materiales completamente distintos. (Juárez y Rico, 2004). Por lo tanto la plasticidad del material es la que realmente identifica a los suelos finos tal como lo indica la clasificación SUCS en la tabla de plasticidad (fig.3.9).

De acuerdo con la clasificación internacional, el tamaño de grano de los limos, esta entre 0.02 y 0.002mm. y las arcillas se encuentran en el rango de .002 y .0002 mm.

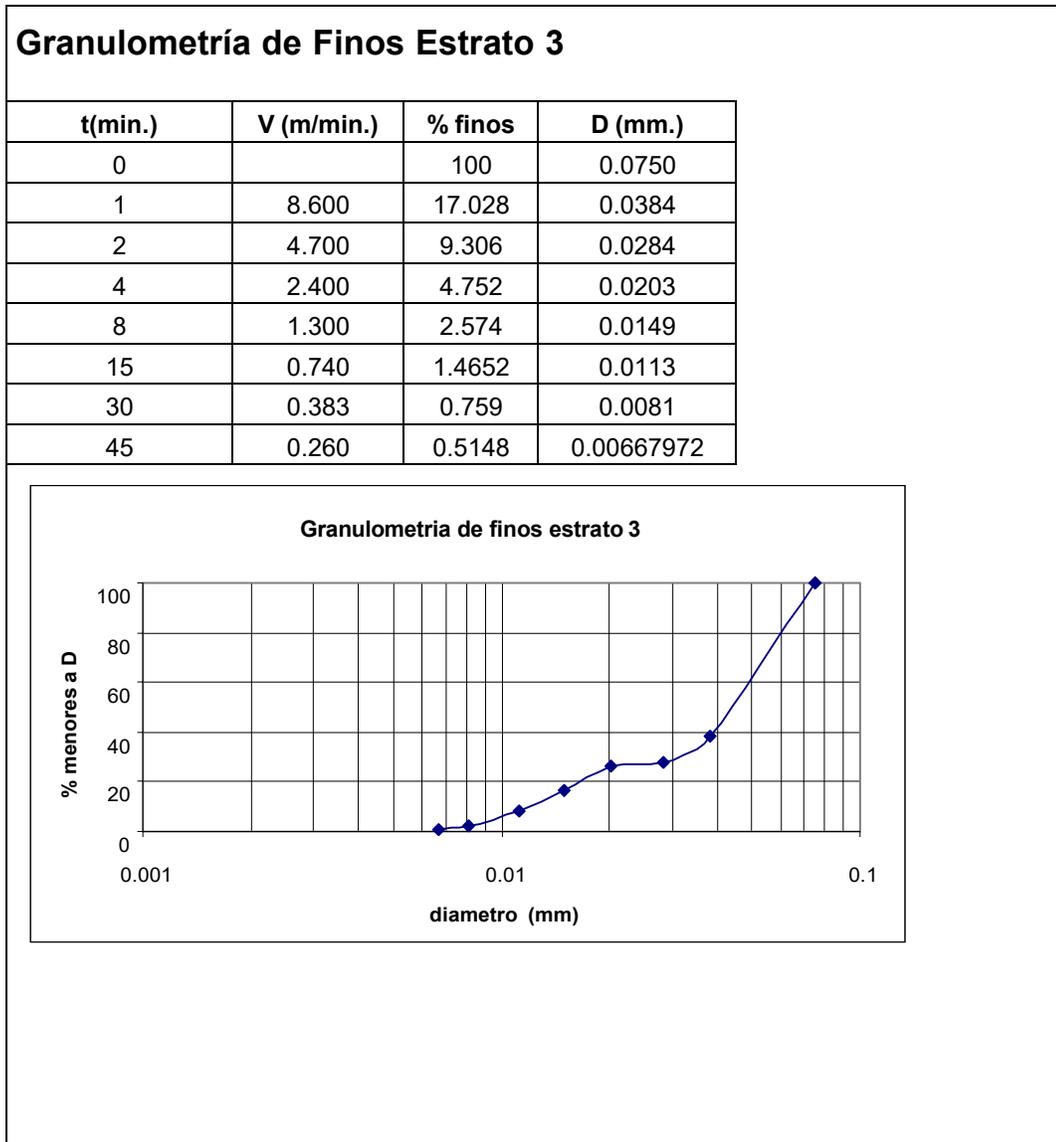
Para la prueba se utiliza una suspensión de agua destilada y glicerina como defloculante, y una concentración de material de 50g/Lt. de solución, con esta concentración se evita que las partículas choquen entre si mientras se precipitan.

La prueba del hidrómetro se realizo a los estratos 3 y 4, en los cuales el contenido de partículas finas es mucho mayor que el de partículas gruesas.



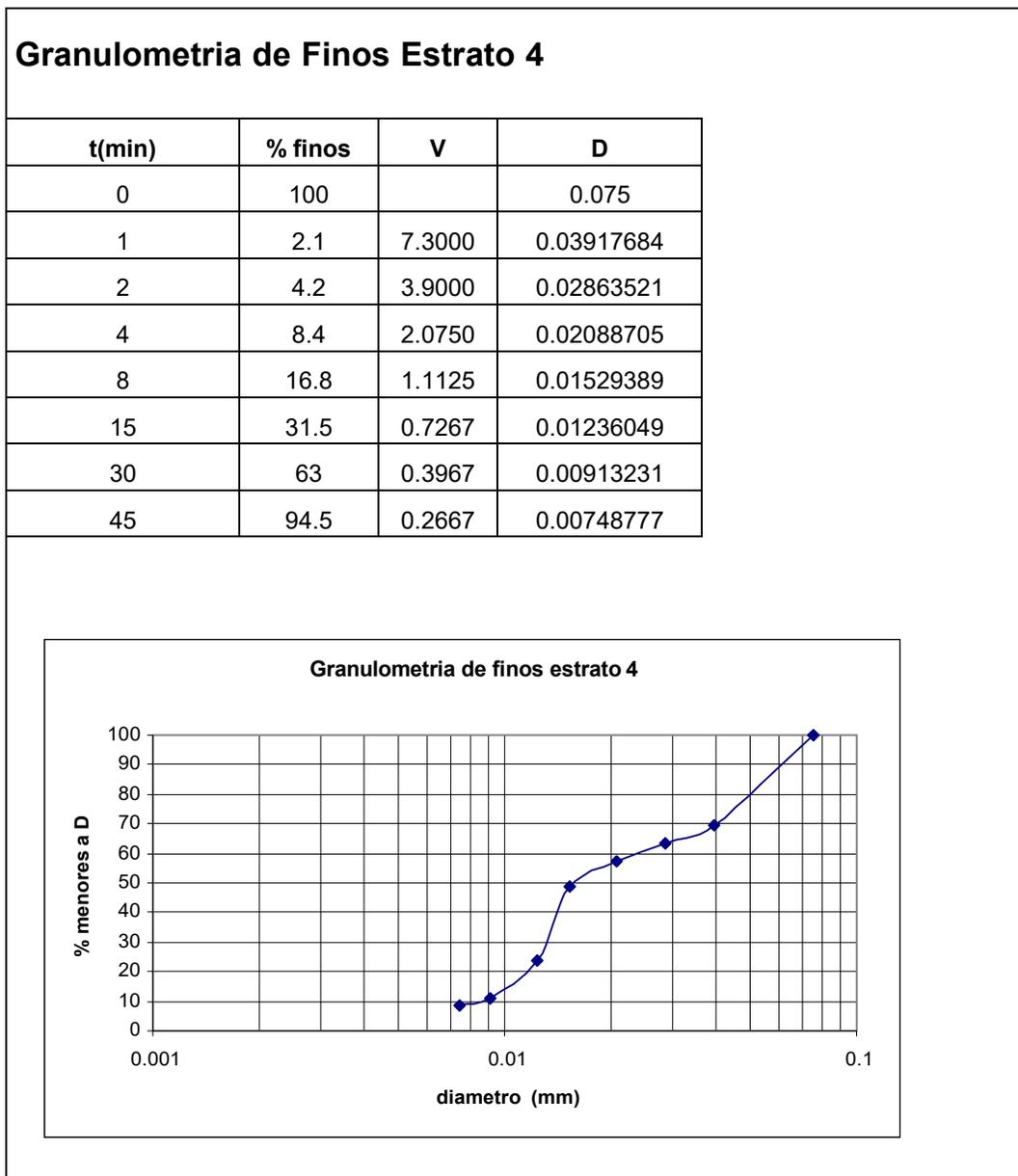
Figura 3.12. Prueba del hidrómetro.

**Tabla 3.6.** resultados de la prueba del hidrómetro estrato 3



Para el estrato 3 podemos ver que prácticamente el 100% de sus partículas son mayores de .002mm por lo cual es posible que se trate de un limo, lo que debe ser comprobado mediante las pruebas índice.

Tabla 3.7. resultados de la prueba del hidrómetro estrato 4.



Al igual que el estrato 3, el 100% de las partículas del estrato 4 son mayores de .002mm, por lo que también entraría en la clasificación de limo, siempre y cuando las pruebas índices lo confirmen.

## Plasticidad

En la mecánica de suelos la *plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse* (Juárez y Rico, 2004p.127).

Atterberg determinó que la plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. Es decir, un mismo suelo puede pasar de un estado sólido con plasticidad nula, hasta un estado líquido donde el suelo se encuentre en forma de suspensión. El comportamiento plástico del suelo se da entre estos dos extremos. Atterberg determinó los siguientes estados de consistencia de un suelo acuerdo al contenido decreciente de agua. (Juárez y Rico, 2004).

- 1.- Estado Líquido. Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido. Tiene las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico. el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido. Tiene apariencia sólida, pero presenta disminuciones de temperatura durante el secado.
- 5.- Estado sólido. El volumen del suelo ya no varía durante el secado.

La determinación de las fronteras entre estos estados se hace de forma convencional mediante lo que Atterberg llamo límites de consistencia.

Para nuestro estudio solo nos interesan el límite líquido, que es el límite entre los estados semilíquido, y plástico, y el límite plástico que la frontera entre los estados

plástico y semisólido. A estos dos límites se le conoce como los límites de plasticidad, y existe la siguiente relación entre ellos.

$$I_p = LL - LP$$

Donde:  $I_p$ : es el Índice plástico.  
LL: es el límite líquido.  
LP: el límite plástico.

### **Determinación del Límite Líquido.**

La determinación del límite líquido se hace mediante la copa de Casagrande, para la cual necesitaremos material cribado en la malla N° 40. Esta prueba consiste básicamente en depositar el material y ranurarla, una vez ranurado se golpea la cápsula, dejándola caer desde una altura de 1cm, hasta que la ranura en el suelo se cierre en una longitud de 1.27cm. una vez que el material se haya cerrado se determinara el contenido de humedad de la muestra.

Esta prueba se realiza tres veces, con diferentes humedades, de tal forma que obtengamos valores entre los 6 y los 35 golpes. El objeto de estas pruebas es el de determinar mediante una gráfica el número de golpes, contra contenido de agua (W%), en la gráfica se ajustan los puntos obtenidos a una recta. A partir de esta recta, se busca la ordenada correspondiente a 25 golpes.



**Figura 3.13.** Determinación del límite líquido, mediante la copa de Casagrande.

## Determinación del Límite Plástico e Índice Plástico

Para la determinación del límite plástico se hace formando rollitos de 3mm de espesor hechos de una pasta de suelo, estos se hacen una y otra vez hasta que este al alcanzar los 3mm se desmorone. En ese momento se dice que llegó a su límite plástico. De igual forma este proceso se realiza tres veces, de tal forma que el valor del límite plástico sea el promedio de estas tres pruebas.



**Figura 3.14.** Determinación del límite plástico.

El índice plástico es la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico. Por lo que finalmente obtuvimos los siguientes valores, los cuales utilizaremos en la clasificación. Además de los límites de plasticidad, determinamos el límite de contracción que la frontera entre los estados semisólidos y sólidos.

### **Determinación del Límite de Contracción**

Además de los límites de plasticidad, determinamos el límite de contracción que es la frontera entre los estados semisólidos y sólidos

*El límite de contracción, el límite entre los estados semisólido y sólido, y es definido como el contenido de agua con que el suelo deja de disminuir su volumen al seguirse secando (Juárez y Rico, 2004, p. 129).*

La determinación del límite de contracción se obtiene midiendo el peso y el volumen de una muestra de suelo, contenida en un recipiente de volumen definido. El límite de contracción está dado por la expresión

$$LC\% = \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2)\gamma_w}{W_s} \times 100$$

Donde:       $W_1$ : peso húmedo de la muestra  
               $W_s$ : peso seco de la muestra  
               $V_1$ : volumen inicial de la muestra  
               $V_2$ : volumen final de la muestra

Las tablas 3.8 a 3.11, muestran la determinación del límite plástico, límite líquido e índice plástico para cada estrato.

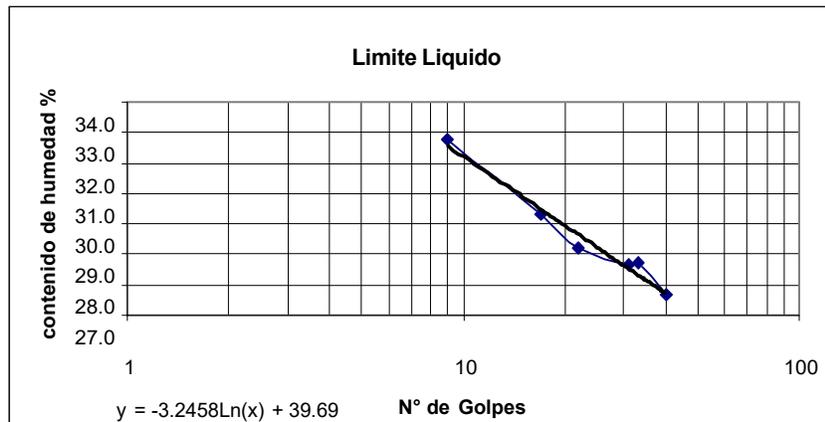
Tabla 3.8. Limites de consistencia, estrato 1.

### Limite Liquido Estrato 1.

Prueba	Nº golpes	contenido de humedad %W
1	9	32.784
2	17	30.302
3	22	29.214
4	31	28.632
5	33	28.700

### Limite Liquido Estrato 1

Prueba	Contenido de agua %W
1	17.329
2	18.609
3	16.589



<b>L.L</b>	<b>17.51%</b>
<b>L.P</b>	<b>29.26%</b>
<b>I.P</b>	<b>11.75%</b>

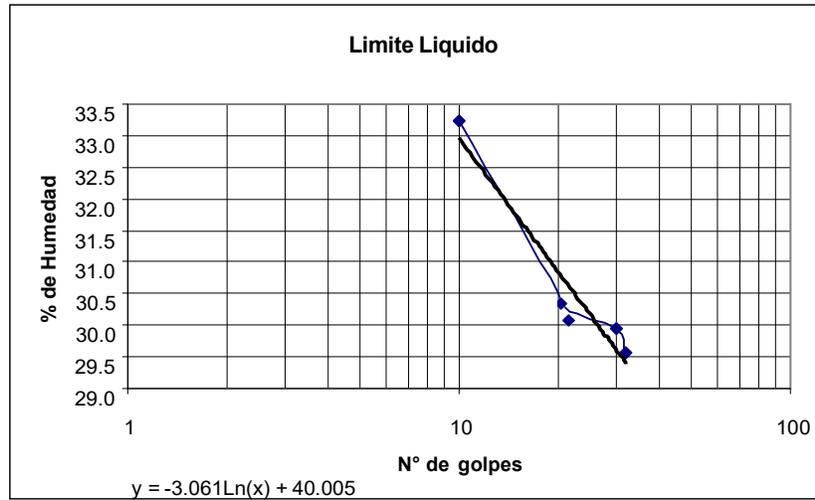
Tabla 3.9. Límites de consistencia Estrato 2

**Limite Líquido Estrato 2**

Prueba	Nº Golpes	Contenido de humedad %W
1	10	10.0000
2	20	10.0000
3	21	14.2857
4	30	13.3333
5	32	15.6250

**Limite Plástico Estrato 2**

Prueba	Contenido de humedad %W
1	19.46308725
2	20.2618359
3	18.76075731



<b>L.L</b>	<b>30.15%</b>
<b>L.P</b>	<b>19.50%</b>
<b>I.P</b>	<b>10.66%</b>

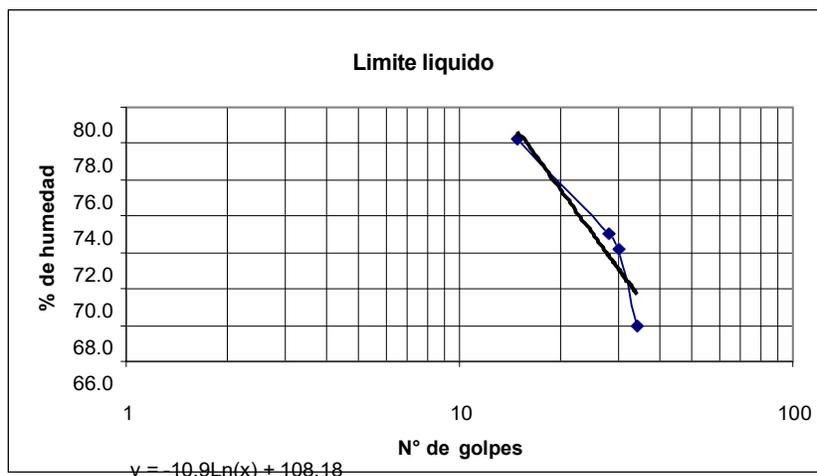
**Tabla 3.10.** Límites de consistencia, estrato 3.

### Limite Líquido Estrato 3

Prueba	Nº golpes	Contenido de Humedad %W
1	15	78.2198
2	28	73.0379
3	30	72.1952
4	34	67.9291

### Límite Plástico Estrato 3

Prueba	Contenido de Humedad %W
1	30.697
2	37.379
3	34.495



<b>L.L</b>	<b>73.09%</b>
<b>L.P</b>	<b>34.19%</b>
<b>I.P</b>	<b>38.90%</b>

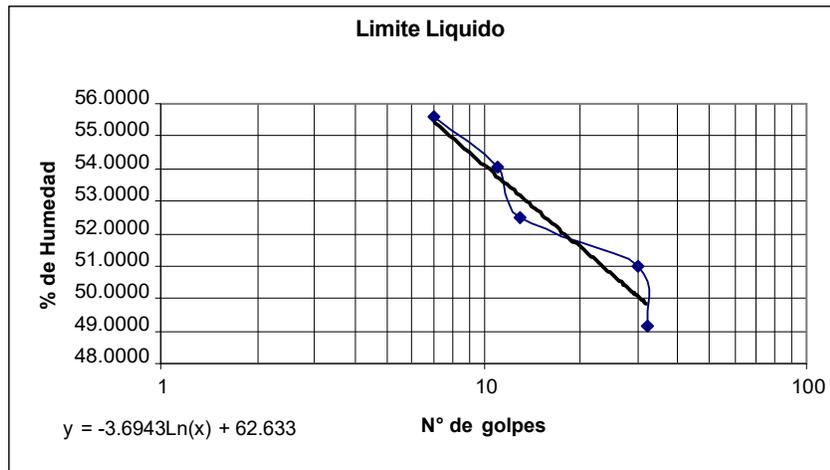
Tabla. 3.11. Límites de consistencia, estrato 4.

### Limite Líquido Estrato 4

Prueba	Nº Golpes	Contenido de humedad %W
1	7	55.60
2	11	54.05
3	13	52.50
4	30	50.98
5	32	49.15

### Limite Plástico Estrato 4

Prueba	Contenido de humedad W%
1	29.223
2	30.172
3	31.923



<b>L.L</b>	<b>50.74%</b>
<b>L.P</b>	<b>30.44%</b>
<b>I.P</b>	<b>20.30%</b>

Los resultados obtenidos de las pruebas índice se resumen en la tabla 3.12

**Tabla 3.12.** Resultados de pruebas índice de los distintos estratos.

Estrato	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice Plástico	LC%
1	29.26	17.51	11.75	--
2	30.15	19.5	10.65	--
3	73.09	34.19	38.9	11.01
4	50.74	30.44	20.3	25.6

### Clasificación de Estratos.

Con los datos que hemos obtenido hasta ahora, respecto a la granulometría y a la plasticidad de los diferentes estratos, es posible clasificar los diferentes materiales, en base a los parámetros establecidos en el SUCS.

**Tabla 3.13.** Datos para la clasificación SUCS, granulometría y límites de plasticidad

Estrato	% grava	% arena	% finos	L.L	I.P
1	1.21	52.72	46.06	29.26	11.75
2	0.18	71.78	28.05	30.15	10.65
3	0	12.73	87.265	73.09	38.9
4	0	15.98	84.0166	50.74	20.3

### Clasificación del Estrato 1

El primer estrato se clasifico como una arena arcillosa **SC**, conteniendo 1.2% de grava, 52.7% de arena y 46.06% de finos. Su comportamiento mecánico-hidráulico esta definido por la parte fina del suelo debido a que representa mas del 12% del total de la muestra. Esta parte fina se ha clasificado como una arcilla de baja compresibilidad y mediana plasticidad **CL**, con L.L, de 29.26% e I.P de 11.75%,  $IP_A = 6.75$ . Su contenido de humedad natural  $W\%$  fue de 10.12%.

## **Clasificación del Estrato 2**

El segundo estrato fue clasificado de la misma manera **SC**, al tener un contenido de grava prácticamente nulo 0.1%, de arena 71.78% y una parte fina de 28.05%, La fracción fina determina el comportamiento mecánico-hidráulico al representar mas del 12% Igualmente la parte fina se clasifico como una arcilla de baja compresibilidad y plasticidad **CL**, al presentar in L.L de 30.15 y un I.P de 10.65% ,  $IP_A = 7.4$  la humedad natural que se determinó fue de 27.13%.

Puede ser que el estrato 1 y 2 sean el mismo suelo, sin embargo, al estar el estrato 2 a una mayor profundidad, se encuentra mas protegido de los efectos de la erosión, por lo que su contenido de arena es ligeramente mayor, sin embargo la fracción fina presenta características plásticas casi idénticas.

## **Clasificación del Estrato 3**

En cuanto al tercer estrato, se determino que este era un suelo claramente fino al contener 87.26% de este material, y solamente 12.63% de arena. Se clasifico como una arcilla de alta compresibilidad y plasticidad media a alta **CH**, L.L de 73.09 e I.P de 38.90,  $IP_A = 38.75$  el índice plástico de este material se encontraba prácticamente sobre la línea A , lo que implicaba que era un caso de frontera entre un CH y un MH, finalmente de clasifico como **CH** debido a sus características resistencia en estado seco, dilatancia y tenacidad, las cuales fueron muy alta, nula y alta respectivamente. Su contenido de humedad natural fue de 37.9 %.

## **Clasificación del Estrato 4**

El cuarto estrato se clasificó como un limo de alta compresibilidad **MH**, el cual contenía 84.01% de finos, y 15.98% de arena, su L.L fue de 50.74% y su I.P de 20.30%,  $IP_A = 22.44\%$  Su contenido de humedad natural fue de 25.82%.

## **Expansión Volumétrica**

La expansión, volumétrica en los suelos, principalmente las arcillas, tiene lugar cuando la masa de suelo es aliviada de masas preactuantes en ella, cuando exista posibilidad de que adquiera agua y transcurra el tiempo necesario para que este fenómeno se lleve a cabo. (Juárez y Rico, Tomo 3, 1972).

Tradicionalmente la expansibilidad volumétrica de los suelos se ha estimado en base a la deformación unidimensional, mediante la prueba de consolidación estándar, es decir, ante esfuerzos normales, es importante mencionar también que los esfuerzos cortantes actuantes sobre la masa de suelo tienen influencia sobre la expansibilidad de un suelo. (Juárez , Rico, Tomo 3, 1972).

En nuestro caso particular, no fue posible, llevar a cabo la prueba de consolidación estándar, debido a diversos factores relacionados con la funcionalidad del consolidómetro, en pruebas donde se requiera un grado alto de precisión, específicamente, se detectó ficción en el mecanismo de transmisión de carga, impidiendo el correcto balanceo de la viga de carga.

Debido a esta situación, el método utilizado para medir la expansión volumétrica fue a partir del incremento de volumen, de un espécimen de volumen definido, compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo, sometido a un proceso de saturación.

Primeramente, se determinó la humedad óptima de compactación del material mediante la prueba Próctor estándar, las cuales fueron de 10 y 20% para los estratos 3 y 4 respectivamente.

Una vez que se determinó la humedad óptima de compactación, se colocó el material en un molde de acero de 3211.8cm<sup>3</sup> de capacidad, con base perforada, se compacto, y se enrazó, para que tomara el volumen del molde.



**Figura 3.15.** llenado y compactado del material en el molde.

Después se colocó una pesa de 6.6kg, sobre el material y se midió el desnivel entre la pesa y la orilla de la extensión del molde.



**Figura 3.16.** Enrase del material y medición inicial.

Por último se sumergió la muestra en agua, manteniendo un tirante mínimo de 4cm por encima del molde. Se midió el desnivel a las 24, 48 y 96 horas.



**Figura 3.17.** Proceso de saturación de la muestra, mediante inmersión en agua.

Con los resultados obtenidos de las mediciones se hicieron las siguientes gráficas deformación-tiempo.

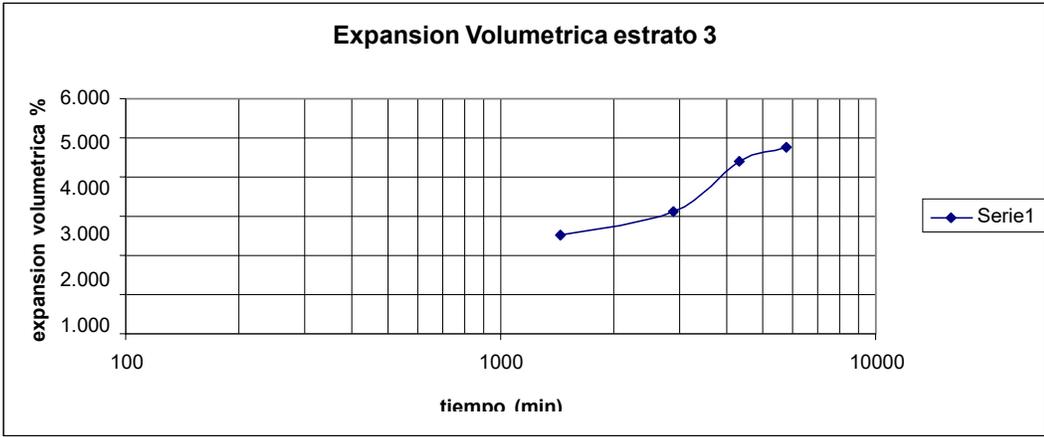


Figura 3.18. Expansión volumétrica estrato 3.

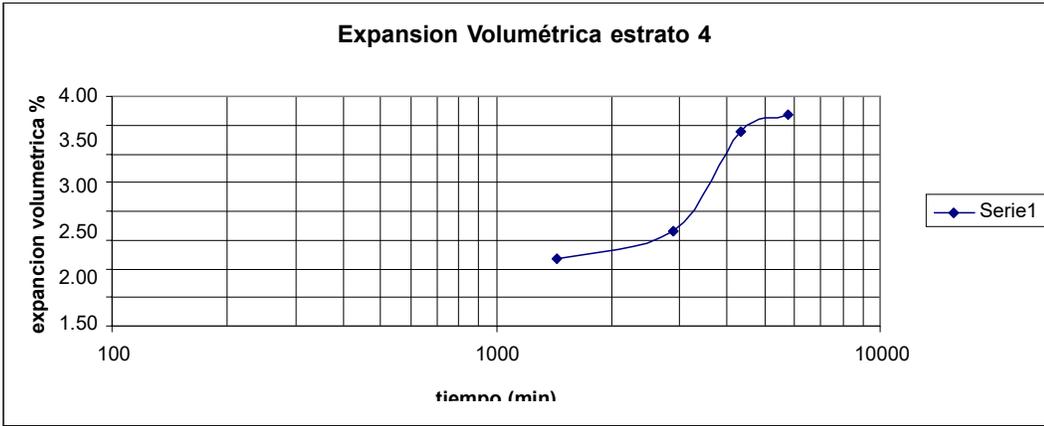


Figura 3.19. Expansión volumétrica estrato 4.

Podemos ver que la expansión volumétrica final, de acuerdo con las graficas anteriores es la siguiente.

Tabla 3.14. Expansión volumétrica estratos 3 y 4

Estrato	% Expansión Volumétrica
3	4.77
4	3.7

### 3.3.1.1 Resistencia al Esfuerzo Cortante.

Uno de los puntos fundamentales de la mecánica de suelos es la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Es imprescindible contar con este concepto al tratar de aplicar la mecánica de suelos al análisis de estabilidad de obras civiles.

En teoría la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos esta dada por, el ángulo de fricción interna  $\phi$  en los materiales 100% granulares y por la cohesión  $c$ , en los suelos puramente cohesivos (arcillas homogéneas), la cual depende de la humedad del suelo, sin embargo en la mayoría de los suelos la resistencia al esfuerzo cortante esta dada por la combinación de ambos parámetros.

Existen principalmente dos métodos experimentales para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, las pruebas de *compresión (triaxial y simple)* y de *corte directo* .

Las pruebas triaxiales, son actualmente la más utilizadas, ya que permiten controlar y medir las presiones actuantes en tres direcciones, El espécimen es colocado en una cámara hermética y confinado mediante una membrana plástica, Las presiones laterales se ejercen mediante un líquido a presión que llena la cámara, y la presión axial mediante un vástago metálico que comprime la muestra a velocidad constante. Las pruebas se dividen en tres tipos, que tratan de representar los distintos factores circunstanciales que influyen en la resistencia al corte del suelo.

La prueba consolidada-drenada o lenta (L), la prueba consolidada no drenada o consolidada rápida (Rc), y la prueba no consolidada-no drenada o rápida (R). En nuestro estudio llevamos acabo la prueba rápida en los estratos tres y cuatro.



**Figura 3.20.** Prueba triaxial rápida R, no consolidada no drenada.

En los siguientes diagramas el radio de los círculos representan la cohesión

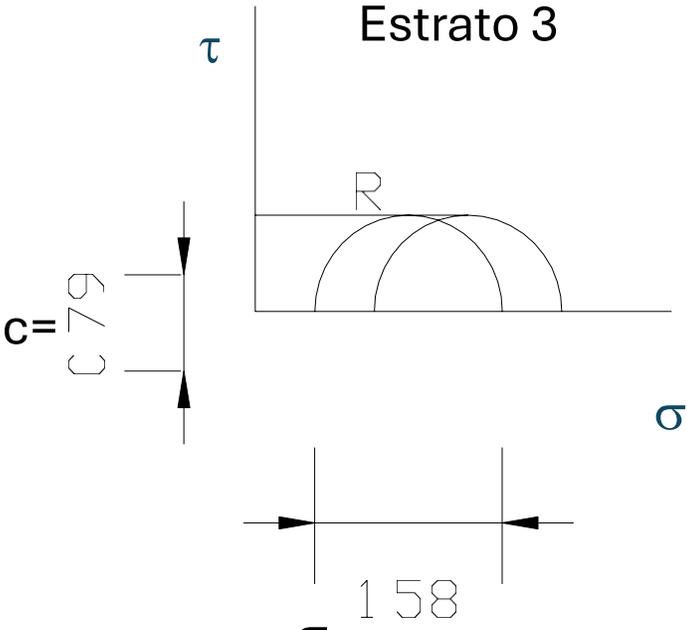
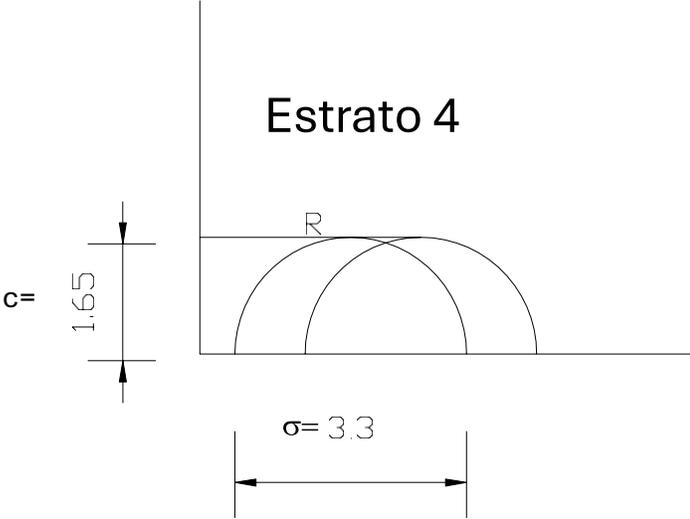


Figura 3.21. Diagrama de Mohr, para la prueba rápida, estrato 3.

?



?

Figura 3.22. Diagrama de Mohr, para la prueba rápida, estrato 4.

Debido a la naturaleza de la prueba, la envolvente de falla **R**, es completamente horizontal, por lo que solamente podemos conocer la cohesión del suelo **c** y no así el ángulo de fricción  $\phi$ . Los valores para la cohesión, obtenidos en la prueba rápida.

La prueba de corte directo, se realizó solamente al estrato 4, con la intención de obtener el ángulo de fricción interna  $\phi$ , que es uno de los parámetros para la determinación de la capacidad de carga.

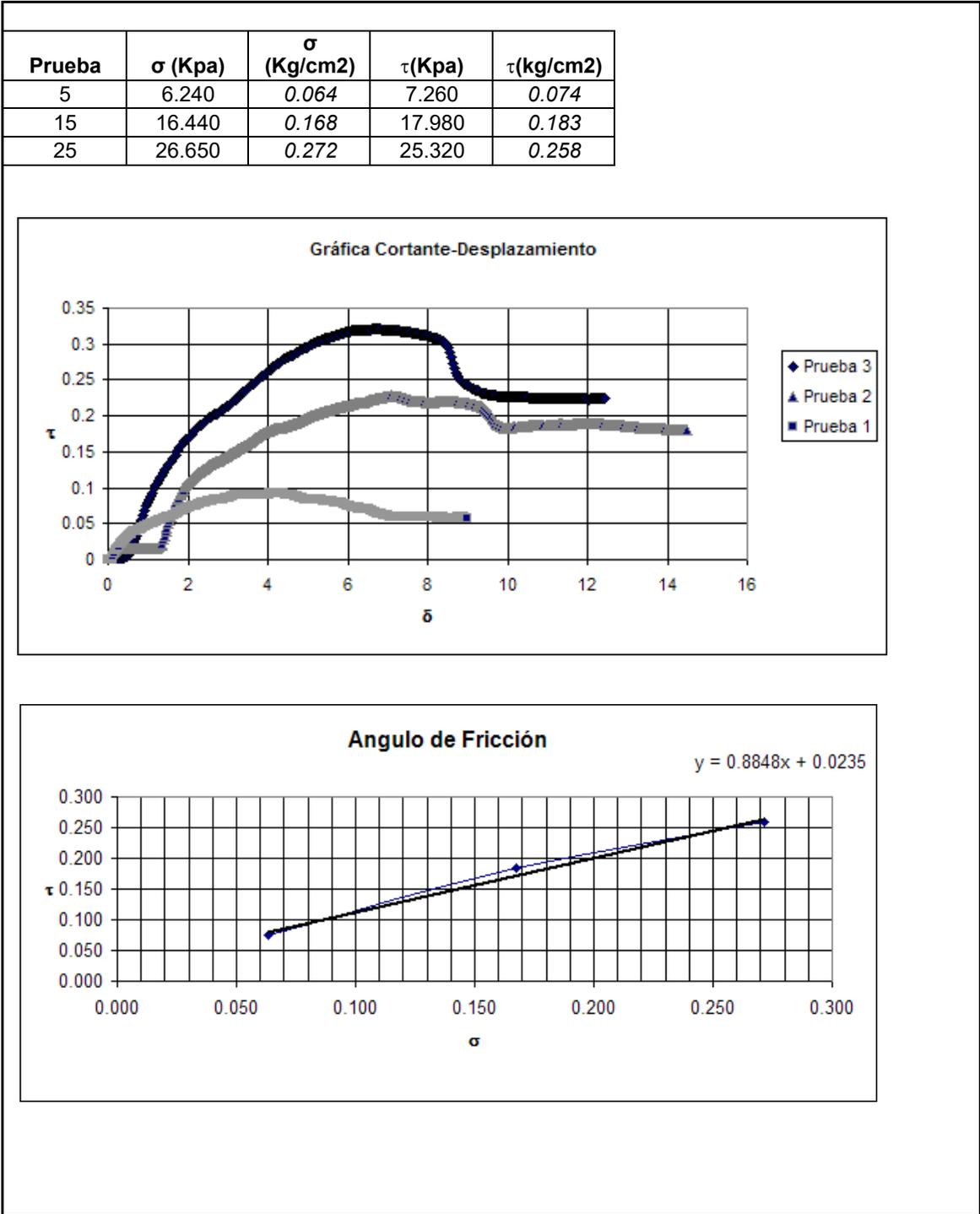
La prueba de corte directo funciona básicamente con dos marcos, uno móvil y uno fijo, la muestra de suelo se coloca dentro de los marcos y es confinada mediante una placa donde se aplica una fuerza normal  $\sigma$ . La parte móvil se desplaza a una velocidad constante, aplicando una fuerza rasante, que induce en el material un esfuerzo cortante  $\tau$ , que provoca la falla del material sobre un plano bien definido.



**Figura 3.23.** Mecanismo para la prueba de corte directo

Se realizaron distintas pruebas, con distintas cargas normales. La línea de falla del material se define por la gráfica  $\sigma-\tau$  de las diferentes pruebas.

**Tabla 3.15.** Resultados de la Prueba de corte directo.



La ecuación de la envolvente de falla de la prueba de corte directo es  $y=0.8848x+0.0235$ , obteniendo el ángulo a partir de la pendiente de la recta obtenemos un ángulo de fricción  $\phi=41.5^\circ$ .

### **Cálculo de la Capacidad de Carga.**

Como sabemos el suelo recibe la carga total de una estructura, a través de la cimentación, La capacidad de carga del suelo la carga máxima que este puede soportar por unidad de área. Una vez rebasada la capacidad de carga el suelo sufre asentamientos o fractura, lo que implica daño a la estructura. Una cimentación bien diseñada transmite las cargas al suelo, sin llegar a solicitar la capacidad máxima del mismo. (Das, 1993)

Utilizando la teoría de la elasticidad, al igual que los estudios previos, la capacidad de carga última está definida por la ecuación, la cual fue calculada por Prandtl, como la presión límite que puede aplicarse sobre una determinada superficie.

$$q_u = (2 + \pi) * c$$

Donde: q: es la carga última o admisible. c: es la cohesión.

Aplicando entonces la fórmula anterior, considerando el valor de la cohesión de  $1.65 \text{ kg/cm}^2$  obtenido en la prueba de compresión triaxial, y un factor de seguridad, igual al utilizado en el estudio 1 de 4, obtenemos el siguiente valor:

$$q_u = 8.48 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ó } 84.8 \text{ Ton/m}^2$$