

## ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y ECOTECONOGIAS APLICADAS EN EL EX. COLEGIO JESUITA DE TEPOTZOTLAN, MEXICO

Gloria María Castorena(1); Aníbal Figueroa(2)

Universidad Autónoma Metropolitana, México  
Av. San Pablo 180, México D.F., 02200. TEL (55)5318-9189

(1) [gmce@correo.azc.uam.mx](mailto:gmce@correo.azc.uam.mx)

(2) [fca@correo.azc.uam.mx](mailto:fca@correo.azc.uam.mx)

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar el conjunto arquitectónico del excolegio de Tepotzotlán, en las diferentes etapas de crecimiento, desde una perspectiva bioclimática, que permita evaluar la respuesta de la arquitectura a las condiciones ambientales y demostrar las alternativas de solución que en su momento utilizaron para el funcionamiento autosuficiente de las instalaciones educativas.

### ABSTRACT

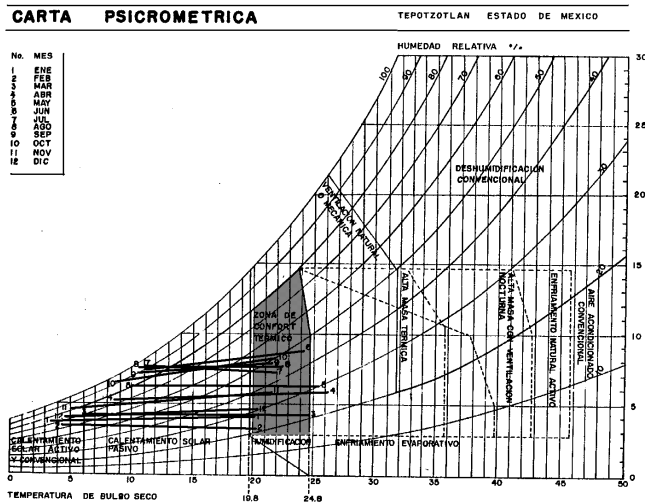
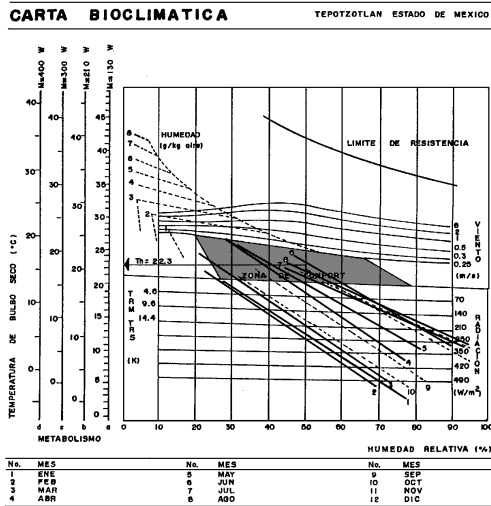
This document analyzes from a bioclimatological point of view the Jesuit College of Tepotzotlan, on its different design and eco technological elements. It identifies self-sufficiency alternatives for educational facilities used in the colonial period in Mexico.

### 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los ejemplos más citados en la literatura de la arquitectura del periodo colonial es el Museo Nacional del Virreinato, el cual comprende las edificaciones de los excolegios jesuitas ubicados en Tepotzotlán, Estado de México. El conjunto ha sido analizado por varios autores bajo una visión histórica, así como por sus cualidades arquitectónicas (INAH, 1964; CARRASCO 1993), ya que es considerado internacionalmente como uno de los ejemplos más significativos de la arquitectura religiosa que se desarrolló en México en los siglos XVI, XVII y XVIII. Nos hemos propuesto desarrollar una nueva línea de estudio relacionada con los aspectos ambientales y energéticos de este conjunto, cuyo objetivo es ampliar y complementar la información histórica y arquitectónica, a través de la evaluación de su funcionamiento bioclimático y de algunos elementos particulares que lo complementan.

El Clima de Tepotzotlán es clasificado como Cb(w0)(w)(i'), por medio del sistema propuesto por Koppen y modificado por García, equivalente a un templado sub-humedo con lluvias en verano, poca oscilación térmica anual y heladas en invierno. El bioclima para diseño de edificaciones es semi-frío con precipitación media, empleando la clasificación de Figueroa-Fuentes (FIGUEROA Y FUENTES, 1990), ya que la temperatura media del mes mas caluroso es menor a 21°C y la precipitación pluvial anual se encuentra entre los 650 y los 1000 mm.

La temperatura media anual es de 15.3°C con una osilación anual de 14.7°C. El mes mas caluroso es Abril, con máximas promedio de 26.2°C. El mes mas frío es Enero, con mínimas promedio de 3.5°C. La Humedad relativa madia anual es de 61.9%. La radiación global media anual es de 4.7 kw/m2 día. La mayor y menor radiación se registran en abril y diciembre respectivamente con valores de 5.6 y 3.6 kw/m2 día. La precipitación pluvial anual es de 699.5 mm. El mes mas lluvioso es Julio con una media de 181.5 mm, el mes mas seco es noviembre con 3.5 mm en promedio. Los vientos dominantes provienen del Norte-Noroeste con velocidades medias de 1.1 m/s.



En la Carta Bioclimática y el Diagrama Psicrométrico podemos observar claramente que existen oscilaciones térmicas importantes y un requerimiento de calentamiento solar pasivo a lo largo de todo el año, el cual se acentúa durante la noche, particularmente en los meses invernales. El requerimiento máximo se presenta en los meses de invierno con 560 W/m<sup>2</sup>.

La inercia térmica y la masividad son estrategias fundamentales para los espacios habitables, ya que ayudan a reducir la oscilación térmica y favorecen el equilibrio térmico y las ganancias indirectas. Preferentemente se deben emplear muros que produzcan un retardo térmico de 10 a 14 horas, combinándolos con sistemas de calentamiento solar directo e indirecto. Debe considerarse la protección al viento dominante del Norte- Noroeste.

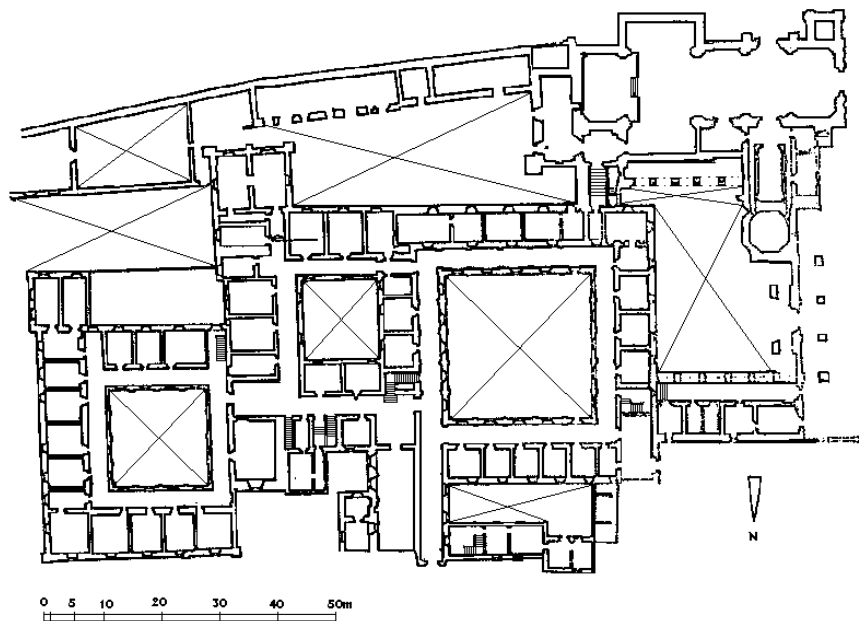


Figura 1. Planta Arquitectónica del nivel de acceso

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las edificaciones que hoy integran el conjunto, se desarrollaron en un terreno de 60,000 m<sup>2</sup>., a lo largo de casi 300 años, bajo los patrones universales que distinguen a los edificios educativos de la orden de los jesuitas. El excolegio de Tepotzotlán se realizó en cuatro etapas (INAH, 1996) constructivas importantes: Las primeras Construcciones, El templo de San Francisco Javier, Ampliaciones y el Esplendor Ornamental. Estas se desarrollaron desde finales del siglo XVI hasta el siglo XVIII, cuando la orden fue expulsada de los territorios americanos.

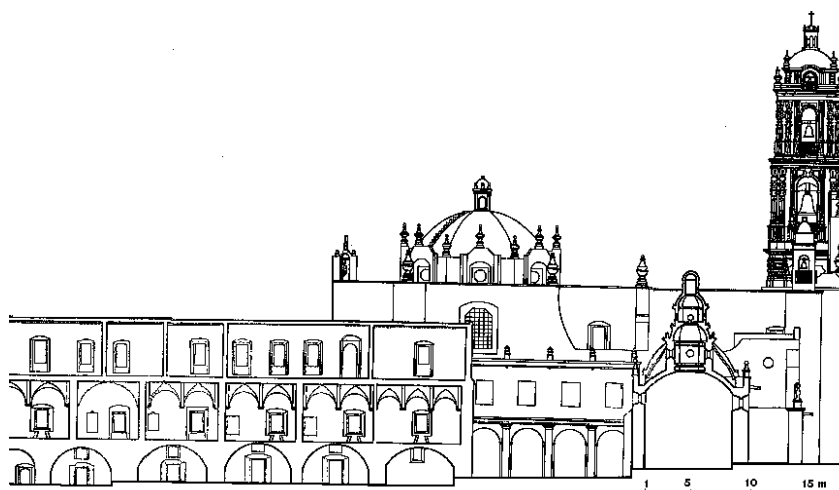


Figura 2. Corte Esquemático del Colegio de Tepotzotlán

Una de las características dominantes de la tipología de estos conjuntos educativos, es la agrupación y jerarquización de áreas a través de claustros, los cuales utilizan el patio central como elemento de unión entre los edificios. Naturalmente, el patio tiene la función de iluminación y ventilación y control térmico, sirviendo al mismo tiempo para albergar los sistemas hidráulicos y de desagüe.

### 3. EL SISTEMA HIDRAULICO.

El sistema de abastecimiento de agua que originalmente se utilizó en los terrenos de cultivo colindantes al Museo Nacional del Virreinato, era el comúnmente llamado de agua rodada, proveniente de los manantiales. En este, el agua fluía por gravedad hasta fuentes ubicadas en el centro de población. Esta acequia de agua “antigua”, como la nombran los españoles en los protocolos del Colegio, data de la época prehispánica y con ella regaban sus tierras los indios, sin embargo, también ocupaban el líquido para preparar sus alimentos y para beber.

A la llegada de los Jesuitas y con la formación del Colegio que albergaba a una población creciente, surgió la necesidad de incrementar la dotación de agua proveniente de la zanja prehispánica. Por ello, los Jesuitas modificaron el trazo original, aportando los materiales, herramienta y alimento a la mano de obra local, con lo cual los indios y el clero llegaron a una concertación en el año de mil seiscientos ocho para que el agua corriera libremente hacia el Colegio los días lunes, martes, miércoles y jueves; y los tres restantes días (viernes, sábado y domingo) fuese utilizada por los indios; acuerdo en el que no se cita que el día domingo no se debe laborar por aspectos religiosos.

El Colegio utiliza el agua de la acequia, actualmente denominada *zanja real* para riego, limpieza, preparación de alimentos y para beber, agregando a dichas funciones la fuerza hidráulica para la generación de la fuerza motriz necesaria para el funcionamiento de dos molinos para cereales. La zanja real accede al Colegio por el lado norte a través de los molinos. Ahí se almacenaba parte del líquido en un depósito a cielo abierto ubicado en el punto más alto de la huerta, para ser usada posteriormente en el riego por gravedad de las áreas de producción de alimentos y los jardines. Otro tanto del líquido se conducía a través de un canal perimetral y un pequeño acueducto a las construcciones para conducirlo al interior de una cámara fría usada en la conservación de los alimentos y hacia la cava. El recorrido terminaba en una fuente ubicada en el patio de las cocinas, colindante con el refectorio.

A principios del siglo XVI se construye la Casa de Probación y Seminario de Lenguas, con lo cual fue necesario tener otra fuente de abastecimiento de agua. Esta se obtuvo a través de la captación por medio de las azoteas de los edificios y el almacenamiento del agua de lluvia, en el denominado patio de los aljibes. Estos fueron los primeros edificios del conjunto, estuvieron destinados originalmente a las aulas para la impartición de clases en el Seminario de Lenguas, posteriormente se edificó el nivel superior, utilizándose parte del edificio como área para los religiosos.



Fotografía 1  
Cisterna en la Huerta



Fotografía 2  
Acueducto a Cocinas

En el patio central se ubican dos depósitos de almacenamiento de agua, los cuales fueron explorados en 1987 por la Arqueóloga Reyna Cedillo, quien describe en su informe el sistema hidráulico de los excolegios jesuitas de Tepotzotlán. La investigación de este patio realizada a través del programa de salvamento arqueológico, cita que se encontraron adosadas a las paredes exteriores de los aljibes, unas piletas colocadas a diferentes niveles, las cuales funcionaron en la época del Colegio de San Martín. Las piletas eran abastecidas por del sistema de agua rodada a través de la Zanja Real.

Otro descubrimiento importante fue en el de una edificación en el lado este de los aljibes, la cual se supone fue una habitación que posteriormente se utilizó como estanque, el cual presenta una pileta central. Cabe citar que los aljibes que actualmente se encuentran en el patio del mismo nombre son de forma cúbica con una sección de 5 m. por lado y una doble altura dividida a la mitad por un andador perimetral. Estos depósitos originalmente utilizaban para su abastecimiento el sistema de agua rodada, sin embargo al construirse la planta alta del edificio perimetral, se diseñó el sistema de captación, filtrado y almacenamiento del agua pluvial.



Fotografía 3  
Patio de los Aljibes



Fotografía 4  
Molinos



Fotografía 5  
Espadaña y Reloj de Sol

El sistema de agua de lluvia presenta cuatro etapas: captación, conducción, filtrado y almacenamiento. La captación se realizaba a través de las azoteas por un diseño de pendientes para concentrar las aguas pluviales en un punto, estas aguas se conducía por medio de un canal adosado al muro norte del claustro, para finalizar su recorrido exterior en el vértice noreste del patio, sitio en el que se localiza un depósito cuya función es la de distribución y filtrado por medio de una trampa de arena, antes de ser almacenado el líquido en los dos aljibes. Este filtrado era muy importante, pues estos son los depósitos

de agua potable del conjunto. La división en dos cámaras permitía dosificar el consumo de agua y garantizar la existencia de suficiente líquido para la época de estiaje que como en todo el altiplano mexicano, se presenta entre los meses de noviembre y abril. El agua para los animales o para los cultivos de hortalizas, se almacenaba en otro depósito abierto mucho mayor que mencionaremos mas adelante.

#### 4. EL PATIO DE LAS COCINAS

El patio de las cocinas concentra el área de servicio, destinado a la guarda y el almacenamiento de alimentos y del vino, así como la zona de preparación de los mismos. Con una proporción ligeramente alargada en el eje norte sur, muestra en la fachada sur del edificio dos relojes solares, los cuales eran un elemento indispensable para la preparación de los alimentos. El primero de ellos fue sustituido al hacer una ampliación que obstruyó su vista desde el patio, por lo que se construyó un segundo reloj con una orientación ligeramente diferente. Este segundo reloj aún funciona y debe observarse que da la hora en tiempo solar verdadero, por lo que presenta una diferencia de 36' 51". La longitud de Tepotzotlán es de 99° 13', y la hora civil actual utiliza el meridiano de referencia 90°, lo que implica una diferencia de 9° 13' equivalente a 36 minutos.

Otros elementos muy importantes en el área de servicio son la cava y el frigorífico. Desde luego, en la época que fueron construidos no existían "maquinas de frío", por lo que la conservación de alimentos y vino se tenía que hacer por medios naturales. Para ello, existe en el Colegio un ingenioso sistema de enfriamiento "pasivo". En el nivel mas bajo de la edificación se hicieron dos cuartos abovedados, que por su ubicación quedan semienterrados en el terreno natural. Sus muros son de mampostería de piedra de gran espesor y entre ellos se hizo pasar el acueducto que lleva agua a la fuente del patio de las cocinas. La humedad del acueducto se filtra al muro, incrementándose la humedad relativa y produciendo con ello un enfriamiento evaporativo que reduce la temperatura en los locales.



Fotografía 6  
Camarín de la Virgen



Fotografía 7  
Patio de la Hospedería



Fotografía 8  
Patio de las Cocinas

Dado que el clima en Tepotzotlán tiene grandes oscilaciones diarias durante todo el año y que la humedad relativa del aire en las tardes es inferior al 50%, este sistema funciona eficientemente. Por ejemplo, en junio la temperatura a las 3 de la tarde es de 24.3 °C y la humedad relativa de 47%, a la misma hora la temperatura de bulbo húmedo puede ser hasta de 17 °C. Por otra parte en marzo la temperatura máxima es de 24.8 °C y la humedad relativa de 21%, lo que permitiría conseguir temperaturas en el frigorífico hasta de 14 °C. Originalmente, tanto la cava como el frigorífico tenían gruesas puertas de madera para evitar que entrara aire tibio desde el patio. La diferencia entre ambos locales es que la cava no tiene ninguna ventana, ya que la luz afecta la calidad del vino, siendo este un local muy húmedo, oscuro y frío. Por otra parte el frigorífico tiene dos orificios: uno mayor en el lado

norte para permitir la entrada de viento frío del norte y otro mas pequeño en la parte superior del muro sur, para establecer una ventilación constante de aire que evitara la formación de hongo o moho en los alimentos. Este segundo orificio es mas pequeño para asegurarse que el flujo de aire sea siempre de norte a sur (aire frío) y no a la inversa.

El sistema hidráulico en esta zona es notable, pues además de enfriar los locales ya mencionados surtía de agua a la fuente de la cocina y proporcionaba agua corriente a un pequeño tanque a la entrada del refectorio que permitía lavarse las manos antes de comer. El tanque tiene tres pequeños orificios para que varios seminaristas pudieran hacer uso de él simultáneamente.

## **5. EL CLAUSTRO DE LOS NARANJOS**

El claustro de los naranjos, concentraba el área destinada a los espacios habitables de los novicios, en una parte del edificio se encontraban los dormitorios, aulas, biblioteca y las áreas de esparcimiento como el boliche y el acceso a la huerta. En su planta baja, se forma un corredor perimetral al patio, estando los espacios cerrados remetidos, lo cual permite tener una área techada con sombreado y protección a las inclemencias del tiempo. Cabe citar que en la planta baja se encontraba el boliche, el billar, la sastrería y la logia, abierta hacia el patio central. La planta alta estaba destinada a los aposentos de los estudiantes y a la biblioteca. Su distribución sitúa a las habitaciones en los lados oriente y sur del patio, con lo cual se puede obtener ganancias tanto directas a través de las ventanas, como indirectas aprovechando la masividad de los muros. Aquí el carácter del espacio es muy distinto. Siguiendo una antigua tradición árabe, traída de España, el patio tiene una generosa fuente al centro, para refrescar el aire en las tardes y esta sembrado de naranjos, lo que le da una sombra agradable, así como aroma a nardos casi todo el año.

## **6. EL PATIO DE LA HOSPEDERÍA**

El patio de la Hostería, hoy restaurante, fue originalmente la Hospedería; lugar de recepción para los visitantes y sitio para albergar a los animales de transporte. De forma rectangular, en proporción 2:1, el lado largo corresponde al eje norte sur, esquema que es favorable para evitar el sombreado que produce la Iglesia de San Francisco Javier, en la planta alta destinada a la hospedería.

## **7. EL PATIO DE LA ENFERMERÍA**

Ubicado al norte del conjunto arquitectónico que hoy forma el Museo Nacional del Virreinato, el patio de la enfermería es rectangular en una proporción 3:1, alargado en el sentido oriente poniente. El sentido de este espacio abierto era el permitir tener iluminación y ventilación en los edificios próximos, al mismo tiempo que resultaba un espacio indispensable para la obtención de la materia prima proveniente de las plantas en la preparación de medicinas. En este patio se localiza otro pequeño aljibe y un sistema de canales que forman parte del sistema hidráulico que por gravedad distribuía el agua a las diferentes áreas.

## **8. LA HUERTA**

Ubicada en el lado norte y poniente del conjunto, con una superficie aproximada de 32 000 m<sup>2</sup>, se extiende lo que fue una plantación de árboles frutales y hortalizas, destinada a la producción de alimentos para los habitantes del colegio, como lugar de esparcimiento y para el desarrollo de actividades religiosas.

En la huerta se encuentran varios elementos "bioclimáticos" muy interesantes. Lo primero que llama la atención es la transición entre el patio de los naranjos y el huerto, a través de un local con bancas, para permitir cambiar el calzado o la vestimenta, al mismo tiempo que funcionaba como esclusa térmica entre el patio central del claustro y la huerta. Muy cercanos a este local se encuentran dos columnas cuadradas asentadas sobre una base sumida con respecto al terreno. Este era el secador "solar". Su

orientación es al sur y originalmente disponía de cuatro vigas arregladas en pares que permitían colocar charolas con frutas o verduras que se desearan secar, así como carne u otros alimentos susceptibles de ser deshidratados.

Los huecos en la base de las columnas son tanques de agua para evitar que los roedores u otros animales pudieran acceder a través de las columnas y se comieran los alimentos que se estaban secando. Debemos recordar que el conjunto funcionaba como un "desarrollo auto sustentable", de ahí la necesidad de almacenar agua potable (patio de los aljibes), refrigerar el vino y algunos alimentos (patio de las cocinas) y deshidratar los productos producido en la huerta, para poderlos almacenar durante largos periodos de tiempo.

Es en el lado norte de la huerta, donde se inicia el sistema hidráulico que utilizaba el agua rodada proveniente originalmente de los manantiales ubicado al poniente del territorio de Tepotzotlán y posteriormente a través de la presa de la Concepción. El sistema se bifurca hacia el atrio de la Parroquia de San Pedro, y originalmente estaba conectado al Colegio a través de la portería para finalmente depositar sus aguas en los aljibes; mientras que el otro ramal se conectaba a la huerta, pasando por los Molinos de grano, los cuales utilizaban para su funcionamiento energía mecánica proveniente de la fuerza de gravedad del agua rodada. Posteriormente el agua podía ser conducida y almacenada en un estanque abierto, el cual permitía por gravedad regar la huerta. Este estanque, además de ser utilizado para el riego también funcionó como sitio de esparcimiento, recreo e higiene para los habitantes del colegio (VAZQUEZ, 1965).

El sistema de desagüe tanto del patio de las cocinas como del patio de los aljibes se conectaba en dirección sur al conjunto, pasando por debajo del Mirador, hacia el este paralelamente a la barda del Colegio. Entre la primera y segunda década del siglo XX se construyó en la huerta, un sistema de fosa séptica para el tratamiento de las aguas utilizadas en el colegio, el cual consiste en un depósito de sedimentación, cuya función está implícita en su nombre, con la finalidad de separar la materia sólida y permitir su precipitación en el fondo del depósito. Una vez separada la materia sólida del líquido, este último era dirigido a una cámara anaeróbica y posteriormente a una cámara aeróbica, para su oxidación. Existe en el sistema una última cámara separada por muros bajos, que funcionaba como un sistema final de purificación a través de la decantación de partículas a través de cal viva. De aquí se obtenía una agua tratada, la cual se utilizaba por gravedad para el riego del lado este y sur de la huerta, reincorporando a su ciclo natural el agua utilizada en el conjunto.

## 9. OTRAS ÁREAS.

Cabe citar, que todos los colegios que se albergaron en Tepotzotlán fueron esencialmente religiosos, por ello, la importancia de diversos recintos destinados al culto. La Iglesia a San Francisco Javier, la capilla Doméstica, la capilla dedicada a la Virgen de Loreto, el Camarín de la Virgen, la capilla de Montserrat entre otros, demuestran dentro de sus cualidades bioclimáticas, el confort lumínico, con el óptimo aprovechamiento de la luz natural que a través de materiales tales como el alabastro y los espejos, manejan la cantidad, la calidad y el color de la luz en los espacios. El confort acústico se consigue aislando los espacios del exterior y permitiendo que a través de los pavimentos, de los materiales en muros y de las formas de las cubiertas, el sonido interior tuviera comportamiento óptimo. El mejor ejemplo lo podemos apreciar hoy en día, al evaluar la acústica es la Iglesia de San Francisco Javier en la ejecución de los conciertos que año con año se realizan en Tepotzotlán.



Fotografía 6

Panorámica del Solarium o Solario del Colegio de Tepotzotlán

Otro ejemplo de un espacio con consideraciones bioclimáticas corresponde al “solarium”o solarario, el cual se sitúa al sur del conjunto, permitiendo tener ganancias directas a partir de la mañana hasta la tarde, al mismo tiempo que el edificio ubicado al norte de la terraza le protege del viento frío procedente de la dirección norte.

Como tercer propiedad bioclimática, se debe mencionar el confort psicológico. Sin lugar a duda, estos espacios religiosos cumplen el objetivo para el cual fueron creados, son espacios que demuestran poder, que exigen el silencio y que nos invitan a la meditación, resultando para la gran mayoría de los visitantes sitios agradables o confortables.

## 10. CONCLUSIONES

Los edificios que albergaron a los colegios jesuitas en Tepotzotlán durante la época colonial, fueron construidos considerando los principios arquitectónicos y las normas urbanas provenían de las edificaciones hispanas.

La topografía, los materiales locales, la disponibilidad de recursos naturales y el conocimiento constructivo de la época prehispánica, se conjunta con la experiencia hispana, para resolver los problemas locales; considerando adicionalmente, que no existe una diferencia significativa entre los bioclimas semifríos de España y los de México, por lo que las edificaciones responden en forma correcta a los principios de diseño que normaron el desarrollo de la Nueva España.

Sin embargo, no podemos despreciar la visión arquitectónica de la época, en donde se analizó, diseñó y construyó considerando todos y cada uno de los sentidos del ser humano. En este conjunto se han aprovechado al máximo las condiciones naturales, buscando un lugar lo más confortable posible. Solo el uso racional de los recursos naturales podía, en su momento, ofrecer un sitio funcional, salubre y cómodo.

El análisis de los edificios del excolegio de Tepotzotlán y la evolución histórica que lo llevó a conformar el conjunto que hoy conocemos; son una fuente de conocimiento sobre las soluciones arquitectónicas de la época. Su estudio y comprensión puede contribuir a la adecuación y actualización tecnológica, aplicable en la arquitectura de hoy.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- INAH, (1964) Colegios de Tepotzotlán Restauraciones y Museología memorias XI, México, INAH, 1964.
- VAZQUEZ SANTA ANNA, H, (1965) Tepotzotlán, Ed. El libro Español, México
- (1992). Tepotzotlán, la vida y la obra en la Nueva España, Ed. Asociación de Amigos del Museo Nacional del Virreinato, Tepotzotlán, México.
- FIGUEROA, A. FUENTES V. (1990) Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura, Ed. IMSS, México
- CARRASCO, G. (1993), Tepotzotlán, Joya del México Colonial, México.
- INAH, (1996) Museo Nacional del Virreinato y Excolegio de Tepotzotlán, Guías México y su patrimonio, Instituto Nacional de Antropología e Historia, JGH Editores, S.A. de C.V., CVS Publicaciones, S.A. de C.V., México.
- CASTORENA, G. FIGUEROA A. (2001) *Relojes y Secador Solar en el ExColegio de Tepotzotlán*, ANES XXV, San Luis Potosí, Octubre
- CASTORENA, G. FIGUEROA, A. (2001) *Vivienda Bioclimática en Tepotzotlán*, Anuario ANES XXV, San Luis Potosí, México
- CASTORENA, G. FIGUEROA A (2002) *Vivienda Bioclimática en las antiguas casas de recaudación de Tepotzotlán*, Anuario ANES XXVI, Chetumal, México
- CASTORENA, G. FIGUEROA A. (2002) *Los Efectos de la Masividad en las Condiciones Higro-térmicas interiores del Antiguo Colegio de Tepotzotlán*, Anuario ANES XXVI, Chetumal, México