



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA, PARA UN
APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO EN EL RÍO DE LA
ARENA, EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO PINOTEPA
NACIONAL, OAXACA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ESTEBAN DAVID ALBERTO VARGAS



DIRECTOR DE TESIS
ING. ROBERTO CARVAJAL RODRÍGUEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

MAYO DE 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A MIS PADRES: SANTACRUZ ALBERTO RAMÍREZ Y LEONARDA MACEDONIA VARGAS MARTÍNEZ, Y CON ESPECIAL CARIÑO A MIS PADRINOS FRANCISCO Y YOLANDA MAYRÉN POR HABERME BRINDADO LA OPORTUNIDAD DE CONTINUAR CON MIS ESTUDIOS.

A MI NATAL TLACAMAMA Y A MI TIERRA ADOPTIVA PINOTEPA NACIONAL, PORQUE EN SUS AULAS VENCÍ A LA IGNORANCIA Y GERMINÓ EN MI EL INQUEBRANTABLE DESEO DE SER INGENIERO.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CUNA DE LA CULTURA, LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA DE NUESTRO PAÍS; POR ABRIRME SUS PUERTAS.

A LA FACULTAD DE INGENIRÍA, PORQUE EN SUS AULAS CONVERTÍ EL SUEÑO DE SER INGENIERO, EN REALIDAD.

A TODOS Y CADA UNO DE MIS PROFESORES; PUES FUERON SUS ENSEÑANZAS, Y CONSEJOS LOS FORJADORES DEL NUEVO HOMBRE QUE AHORA SOY.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
1. INFORMACIÓN BÁSICA DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO PINOTEPA NACIONAL, OAXACA.....	15
1.1 Localización.....	15
1.2 Vías de comunicación.....	18
1.3 Población.....	18
1.4 Educación.....	18
1.5 Recursos naturales.....	19
1.6 Necesidades.....	19
1.7 Economía.....	21
2. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA CUENCA RÍO DE LA ARENA.....	23
2.1 Regionalización Fisiográfica.....	23
2.2 Topografía.....	26
2.3 Climas.....	27
2.4 Geología.....	29
2.5 Hidrología superficial.....	35
2.6 Edafología.....	38
2.7 Registros hidrométricos del Río de La Arena.....	48
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO REPRESENTATIVO DE LA CUENCA RÍO DE LA ARENA.....	49
3.1 Ubicación del parteaguas.....	49
3.2 Área drenada.....	49
3.3 Parámetro de forma.....	49
3.4 Coordenadas del centro de gravedad de la cuenca.....	50
3.5 Longitud de la cuenca.....	50
3.6 Ancho máximo de la cuenca.....	50
3.7 Ancho medio de la cuenca.....	50
3.8 Coeficiente de asimetría.....	51
3.9 Pendiente media de la cuenca.....	52
3.10 Elevación media de la cuenca.....	53

3.11	Orden de corriente.....	53
3.12	Coeficiente de sinuosidad.....	53
3.13	Densidad de corriente.....	54
3.14	Densidad de drenaje.....	54
3.15	Pendiente media del cauce principal.....	54
4.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	55
5.	CONCLUSIONES.....	62
5.1	Usos probables de aprovechamiento.....	62
5.2	Recomendaciones de estudios de campo a nivel de Anteproyecto.....	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	68

INTRODUCCIÓN

En este siglo XXI muchas son las preocupaciones de los habitantes del planeta, destacan por su severidad los embates de los elementos naturales como terremotos, huracanes, tsunamis, etc., esto por los efectos destructivos que ocasionan a su paso y mas porque no importando si el país es miembro del grupo de los 8 o de las Antillas, sus habitantes los sufren por igual. Pero también preocupa el deterioro ambiental y sus efectos. Pero mas devastadores aún son los efectos que provoca una crisis energética; por esto en los sectores de la infraestructura, el sector energía ocupa el segundo lugar en importancia, solo después del sector agua.

Según los pronósticos mas recientes, las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose en el transcurso de este siglo XXI. Esto ha despertado ahora mas que nunca, la codicia de los países ricos que indiscriminadamente y sin miramientos de ninguna índole saquean las últimas reservas de petróleo de los países subdesarrollados, a cambio de préstamos lucrativos o productos procesados. Esto en el mejor de los casos, porque también está el recurso de la intervención militar con cualquier pretexto, como los recientes casos de Irak y Libia.

Pero la escasez de estos recursos también ha traído cosas buenas, pues ha despertado la conciencia de los gobiernos para un mejor aprovechamiento y preservación de sus recursos. Así como la motivación de centros de investigación y universidades que cada día se esmeran por aportar a sus países y al mundo mas y mejores profesionistas, nuevas tecnologías y una creciente vinculación con los sectores público y privados encargados de la explotación, procesamiento y manejo de dichos recursos.

El presente trabajo aborda dos de los problemas del siglo actual: el agua y la energía, para lo cual se eligió un municipio de la República Mexicana, perteneciente al Estado de Oaxaca.

Santiago Pinotepa Nacional, uno de los 570 municipios del Estado de Oaxaca, enclavado en la Región de la Costa Chica empieza al igual que muchas comunidades del país a padecer el problema del aprovisionamiento de agua. Se suma a este problema la imperiosa necesidad de contar cuanto antes con una fuente de energía; segura, continua y económica; que le permita iniciar su desarrollo industrial. Bordean el municipio dos de las corrientes mas importantes de la Región: El río Cortijos localizado a una hora de la cabecera municipal y el río de La Arena a solo diez minutos.

El problema: el aprovisionamiento urgente de agua potable, y a corto plazo el abastecimiento de energía eléctrica.

Hipótesis: Considerar al Río de La Arena objeto de un aprovechamiento hidráulico.

Objetivos: Asegurar el abastecimiento de agua potable y aprovechar la energía potencial del agua para convertirla en energía eléctrica.

Metodología: reunir la información necesaria y suficiente, analizarla y evaluarla, para finalmente emitir las conclusiones que permitan por un lado sustentar la hipótesis de que si es viable un aprovechamiento hidráulico en este río.

México, como pocos países en el mundo, posee dentro de sus recursos energéticos; casi todas las formas de energía aprovechables: carbón, petróleo, gas; las energías renovables tradicionales: solar, eólica, hidráulica y geotérmica y las de mas reciente utilización: biomasa, maremotriz, corriente y olas, ventilas submarinas hidrotermales, entre otras.

Las fuentes de energía pueden dividirse en dos grandes subgrupos: *Permanentes o renovables y temporales o no renovables.*

No renovables. Son aquellas fuentes cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso: Las principales son la energía nuclear y los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón.

Los combustibles fósiles se pueden usar en forma sólida(carbón), líquida(petróleo) o gaseosa(gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural, de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno y acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias; de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía. La energía mas utilizada en el mundo es la energía fósil, los cálculos pesimistas de expertos en el tema aseguran que el planeta puede suministrar esta energía durante 40 años mas, si solo se utiliza el petróleo y mas de 200 si se sigue utilizando el carbón.

Se denomina **energía permanente o renovable** a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Las también llamadas energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente.

Actualmente, están cobrando mayor importancia a causa del agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global, acompañado por una mayor toma de conciencia a nivel internacional con respecto a dicho problema. Así mismo, economías nacionales que no poseen o agotaron sus fuentes de energías fósiles y necesitan adquirir esos recursos de otras economías, buscan evitar dicha

dependencia energética, así como el negativo en su balanza comercial que esa adquisición representa.

La **energía solar** es quizá la forma de energía mas antigua utilizada por el hombre; es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía de la Tierra, la fuente el astro rey: el Sol.

Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o eléctrica. Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre si en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables.

Se puede diferenciar entre receptores activos y pasivos, en que los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol (llamados seguidores) y captar mejor la radiación directa.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo, mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte (que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total) además de la dependencia energética.

Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad.

En México, esta energía alcanza en el noroeste niveles superiores a 1 kW/m² y valores diarios de 7 kWh/m² que son de los mejores del planeta.

En **energía eólica** es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes del aire. El término eólico viene del latín *Aeolicus* (griego antiguo Aiolos), perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega.

Se obtiene a través de unas turbinas eólicas, que convierten la energía cinética del viento en electricidad; por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central

conectado a través de una serie de engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad, para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.

La energía del viento, está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión).

Por lo que puede decirse que la energía eólica es una forma no directa de energía solar, las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera, provocadas por absorción de la radiación solar, son las que ponen al viento en movimiento.

El aerogenerador, es un generador de corriente eléctrica a partir de la energía cinética del viento, es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por esta tecnología.

Actualmente se utiliza para su transformación en energía eléctrica, a través de la instalación de aerogeneradores o turbinas de viento.

De entre todas las aplicaciones existentes de la energía eólica, la más extendida y la que cuenta con mayor crecimiento es la de los parques eólicos para producción eléctrica.

Un parque eólico, es la instalación integrada por un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente son la evolución de los tradicionales molinos de viento. Como tales son máquinas rotativas que están formados por tres aspas, de unos 20 a 25 metros, unidas a un eje común, suelen medir de 40 a 50 metros e inclusive ser más altos, dependiendo de la orografía del lugar. Pueden trabajar solos o en parques eólicos, sobre tierra formando las granjas eólicas, sobre la costa del mar o incluso pueden ser instalados sobre aguas a cierta distancia de la costa, en lo que se llama granja eólica marina.

El elemento de captación o rotor que está unido a este eje, capta la energía del viento. Mediante el movimiento de las aspas o paletas, accionadas por el viento, activa un generador eléctrico que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica.

En México, los vientos del Istmo de Tehuantepec superan los 9 m/s en promedio y alcanzan factores de planta de 50% también de los más altos del mundo. Otras zonas, no en ese nivel pero todavía muy competitivas como algunos lugares en Zacatecas, Hidalgo, Veracruz y Baja California, son similares a los mejores sitios europeos.

El desarrollo de este tipo de energía, puede reforzar la competitividad general de la industria y tener efectos positivos y tangibles en el desarrollo regional, la cohesión económica y social, y el empleo.

Los fondos invertidos a escala regional en el desarrollo de las fuentes de energía renovables pueden contribuir a elevar los niveles de vida y de renta de las regiones menos favorecidas o en declive, mediante la utilización de recursos locales, generando empleos permanentes a nivel local y creando nuevas oportunidades para la agricultura.

La **energía geotérmica**, es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre, mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra con temperaturas de hasta 5,000 °C, llega a la superficie terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico. Geotérmico viene del griego geo, “Tierra”; y de thermos, “calor”; literalmente “calor de la Tierra”.

México aprovecha esta tecnología desde 1973, y actualmente tiene instalados 1,000 MW que lo convierten en potencia mundial.

La **energía hidráulica**. La energía potencial acumulada en los saltos de agua, puede ser transformada en energía eléctrica. El salto de agua mueve una turbina, la turbina es aplicada a su vez a un generador eléctrico. El generador eléctrico es un dispositivo o máquina capaz de poner los electrones en movimiento, es decir, de producir corriente eléctrica de forma continua. La energía eléctrica se genera en función de la demanda existente en cada momento, *ya que la energía eléctrica no se puede almacenar*. Como la demanda varía a lo largo del día y también existen diferencias estacionales de consumo, hay que ajustar constantemente la producción de electricidad en función de la demanda existente. Este ajuste se realiza encargando a cada central la producción de determinadas cuotas de energía eléctrica, teniendo en cuenta la disponibilidad de energía primaria según la época del año y optimizando al máximo el rendimiento del conjunto.

La energía eléctrica producida sale de la central eléctrica y se distribuye a los centros de consumo mediante las líneas de alta tensión. Para ello debe ser transformada de los niveles de tensión a los que es generada en el alternador, normalmente 20,000 V, a los niveles que resulten adecuados para su transporte y distribución, en general 220,000 ó 380,000 V.

Esta alta tensión permite un transporte a largas distancias con pérdidas reducidas. En las cercanías de los centros de consumo, unas estaciones receptoras transforman la alta tensión que reciben a valores inferiores, entre 130,000 y 66,000 V, y en estas condiciones llegan a las ciudades o áreas industriales, a través de subestaciones transformadoras. Allí se reduce de nuevo el nivel de la alta tensión eléctrica a unos 22,000 V, tensión a la que se distribuye por el interior de las ciudades hasta los

centros de transformación finales, de los que se obtiene la energía eléctrica a los valores aptos para su utilización directa en industrias o viviendas, 380 ó 220 V.

Para el aprovechamiento de las energías renovables, existen tres categorías:

Pequeños desarrollos

Están destinados a casas habitación y edificios, ya que no contaminan y producen escasas emisiones de CO₂. Esto se logra apoyando a la iniciativa privada para que las utilice en algunas de las siguientes aplicaciones:

- Solar Diseños de casa y edificios con los aprovechamientos básicos de la arquitectura solar; calentamiento de agua para consumo doméstico y de aire para calefacción, producción de electricidad con celdas fotovoltaicas y baterías en zonas aisladas, refrigeración y enfriadores de aire con plantas solares.
- Eólica. Bombeo de agua, carga de baterías y uso combinado de generación híbridos.
- Geotérmica. Extracción o inyección de calor de las capas superficiales de la Tierra mediante bombas de calor; minigeotérmica, para generar electricidad con fuentes de agua caliente de mas 80 °C; calefacción directa usando agua somera caliente.
- Biomasa. Además de quemarla para generar calor(contaminante y de alta temperatura), producción de biogás con desechos de rastrojos, establos, lodos de plantas de tratamiento de agua; transformación de residuos aceitosos de restaurantes en biodiesel; cogeneración con bagazo de caña y rastrojos.
- Océano. Aprovechar en hoteles costeros el agua fría del fondo marino para aire acondicionado, corrientes marinas o fluviales para la fabricación de generadores pequeños.

Desarrollos medianos

Es posible promover plantas de generación comunitarias aprovechando fuentes de energía renovables. Cualquier estudio mas a fondo de estas aplicaciones lleva a deducir que las dificultades para implantarlas tiene que ver principalmente con la organización de las propias comunidades, debido a la complicación de algunos aspectos legales, ya que intervienen muchos organismos estatales y federales en la concesión de permisos. Otro aspecto que no debe soslayarse: la gente prefiere energía segura de la red (que muchas veces no paga) en lugar de un comodato para generar su propia energía. A este respecto cabe hacer mención de la reciente promulgación de la Ley de asociaciones publico-privadas; que sin duda facilitará el proceso legal para la planeación y desarrollo de las nuevas formas de energía sustentable.

Dentro de las posibilidades sustentables para pequeñas comunidades, la que siempre resulta adecuada es la energía hidráulica con plantas pequeñas, se pueden

programar las horas de generación según los usos y las disponibilidades con un almacenamiento adecuado. En el país existe potencial para instalar mas de 3,000 MW con estas pequeñas plantas.

Grandes desarrollos eléctricos

En este rubro entran las energías renovables solar, eólica y geotérmica; se excluye la minihidráulica pues está contemplada en plantas medianas, tratada en el capítulo anterior.

Antes de examinar cada una de estas fuentes, conviene exponer las razones que habría para explotarlas y no caer en el simplismo de apoyarlas “copiando” la moda internacional, vicio al que México es asiduo desde hace muchos años. Los temas de estas razones son muy variados e igualmente importantes:

- Economía
- Se están acabando el petróleo y el carbón
- Diversificación de la matriz energética
- Mayor integración nacional
- Menor contaminación
- Menores emisiones de CO₂

Examinando la energía solar con esta vara de seis puntos, diremos que este tipo de fuente (que solo funciona unas seis horas al día) puede usarse para contribuir al ahorro en una red donde el respaldo lo darán las plantas tradicionales. Esto es: si se pretende instalar una planta solar independiente y autónoma, se requerirá un sistema de almacenamiento (de los cuales ya hay varios plenamente desarrollados) y tres centrales adicionales para cargar durante el día (seis horas) el almacenador que entregará energía durante las 18 horas restantes sin luz natural. Las plantas solares que hay instaladas o en construcción en el mundo son todavía demasiado caras, aunque debe reconocerse que constituyen la fuente de energía mas abundante y sustentable del planeta y que son una buena opción para diversificar la matriz energética; si actualmente se instalara una central solar en México, es muy probable que le ocurriera lo que a la eólica, donde la integración nacional es casi nula, todo es importado; en cuanto a reducir la contaminación y disminuir los gases de efecto invernadero, es lo mas adecuado. Cabe destacar el nuevo proyecto en Mexicali para instalar un enorme banco de acumuladores donde se podrá recibir energía intermitente de las renovables de la zona y venderla a las horas de mayor demanda.

La energía eléctrica producida con fuente eólica es, al menos en México, suficientemente económica para competir con las tradicionales. Sin embargo, su gran desventaja es su intermitencia y la poca predictibilidad de su comportamiento.

Es decir no es potencia firme, debe contar con el respaldo de la red. México es uno de los países que cuenta con mayores recursos de buenos vientos. Además ya se instalaron mas de 500 MW y se pretende llegar en el mediano plazo a 2,000 MW. Lamentablemente la integración nacional es casi nula debido a la apertura que rige en el país respecto a las licitaciones internacionales, aunque recientemente se avanza en un gran desarrollo industrial manufacturero en el país por parte de una empresa privada.

En el caso de la geotérmica, México tiene instalados alrededor de 1,000 MW en centrales geotérmicas, que operan día y noche con altos factores de planta. El potencial actual se puede duplicar con facilidad, ya que hay grandes yacimientos todavía no explorados con pozos profundos. La integración nacional de la geotermia es muy grande, la mitad del costo de los proyectos corresponde a exploración, pozos, vaporductos, entre otros rubros totalmente nacionales. La otra mitad, que es la central, puede llegar a ser 60% nacional, pues aún las turbinas se fabrican en el país.

México cuenta con abundantes recursos renovables; además de esa ventaja, existe una clara voluntad del Ejecutivo Federal por participar activamente en el desarrollo de tecnologías limpias para contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático, como se manifestó en la pasada COP 16 en Cancún y la reciente promulgación de la Ley de Asociaciones público-privadas, lo demuestran. Estos ingredientes son una buena base para impulsar las pequeñas, medianas y grandes plantas que operen con energías renovables; a las pequeñas, mediante un apoyo financiero y tecnológico. Asimismo, es necesario apoyar los desarrollos comunitarios medianos, donde se requiere coordinación social y técnica para promover la obtención de energía renovable, adecuando la legislación y dando apoyo financiero. A las centrales que aportan energía al sistema interconectado nacional, seguir las apoyando a través de la CFE y buscando la participación del sector privado en las modalidades de autoconsumo.

Desde siempre el hombre ha estado en permanente contacto con el agua; los primeros pueblos se asentaron en sitios donde este recurso fuera abundante, cuando hizo falta construyó acueductos para conducir el agua de las fuentes de explotación a la ciudad, mas tarde cuando decidió no depender de los cultivos de temporal, incursionó en la agricultura de riego y requirió regar sus cultivos para lo cual, construyó las primeras presas para abastecerse.

En la actualidad el abasto y control del agua, representa uno de los mas grandes problemas de todos los países de la tierra; de ahí que haya sido llamado el problema del siglo.

Proyectos ejemplares, antes y después de Cristo, dan cuenta de ello:

Aqua Apia, Roma, 312 a. C.

Durante cuatro siglos, la ciudad de Roma solventó su necesidad de agua mediante el uso del río Tíber, la perforación de pozos para llegar a las capas subterráneas de agua y la captación de fuentes. Sin embargo, a fines del siglo IV a. C., Roma vivía una etapa de ampliación al interior y de expansión a costa de sus vecinos, por lo que su creciente población requería de una mayor cantidad de agua. Debido a esto se inició la construcción del primer acueducto en Roma en 312 a. C., conocido como Aqua Apia, por la iniciativa del censor Apio Claudio Ciego.

Acueducto del padre Tembleque, Otumba, México, 1545

En el siglo XVI, llegó a la Nueva España, procedente de la provincia de Toledo, un fraile franciscano conocido como fray Francisco de Tembleque. Quien preocupado por la escasez de agua que padecían los indígenas en la región, se dio a la tarea de resolver este problema. Para lo cual planeó y dirigió la construcción de la que sería, **la obra de ingeniería hidráulica mas importante levantada durante el siglo XVI en el continente Americano.**

La obra tiene una longitud total de 37 kilómetros, 32 desde su origen en los manantiales de las faldas del volcán de Tecajete hasta Otumba, y una bifurcación de 5 kilómetros que surtía de agua a las poblaciones de Zacuala y Zempoala.

Si bien el acueducto del padre Tembleque se conoce principalmente por la arquería mayor, cerca del 95 % es subterráneo, variando su profundidad desde unos cuantos centímetros hasta 2 metros; encontrándose 4 secciones aéreas, la primera en la Hacienda de Arcos, la segunda en Amiltepec, una tercera conformada por un único arco en Acelotla y la mas importante con 68 arcos, 880 metros de longitud y 38.75 metros de altura en Santiago Tepeyahualco.

Inland Feeder, California, Estados Unidos, 2010

Este proyecto comenzó en 1997 y consiste en un sistema de transporte de gran capacidad de agua, de 71 kilómetros, que conecta el Proyecto de Aguas del Estado de California SWP (por sus siglas en inglés) con el acueducto del río Colorado y el lago del Valle Diamond. El sistema, diseñado por el Distrito Metropolitano de Aguas del Sur de California, aprovecha los excedentes del agua provenientes del norte de California, llevándolos a depósitos superficiales, como el lago del Valle Diamond, mientras que minimiza el impacto en el ya de por si frágil delta de San Joaquín/Sacramento/San Francisco. Entró en operación a mediados de 2010 y tubo un costo total de 1,200 millones de dólares.

Ciudad de México 2007

Recientemente el Gobierno de la Ciudad de México tomó la valerosa decisión de convocar a Universidades, Colegios de Ingenieros y a particulares a presentar propuestas para crear un **PLAN PARA LA RECARGA DE MANTOS ACUÍFEROS CON AGUA DE LLUVIA**. Dos son las razones que han motivado esta determinación: las crecientes crisis por falta de aprovisionamiento de agua potable proveniente del Sistema Cutzamala y las cuantiosas inundaciones en numerosas colonias de la capital.

Este sería un segundo intento para recargar el acuífero del Valle de México; el primero que se propuso fue a base de inyección de aguas residuales, para esto se construyeron algunos pozos de absorción en distintos puntos de la Ciudad, pero estos pozos fueron clausurados al comprobar que se estaba contaminando el acuífero. Es por eso que dentro de las Bases de la Convocatoria se señala expresamente, que la recarga será a base de agua de lluvia.

Este esfuerzo del gobierno de la Ciudad de México, por solucionar la crisis del agua nos demuestra que cuando se han agotado o contaminado las reservas del vital líquido, queda el recurso de voltear al cielo, pero no para pedir un milagro, sino para aprovechar el agua de lluvia que es como todos sabemos una alternativa confiable, económica y sobre todo sustentable.

1. INFORMACIÓN BÁSICA DEL MUNICIPIO

1.1 Localización.

Entre la Sierra Madre del Sur y el Océano Pacífico; se extiende una angosta faja de terreno que va de bahía de Banderas en el Estado de Nayarit, hasta el río Tehuantepec en el Estado de Oaxaca, tiene una longitud aproximada de 1,400 kilómetros y un ancho que varía de 50 a 100 kilómetros; denominada **Planicie Costera Sudoccidental**. De los límites de Michoacán hasta el puerto de Acapulco, en el Estado de Guerrero; se denomina **Costa Grande** y desde los límites del Puerto de Acapulco con el Municipio de San Marcos, hasta el municipio de Santiago Jamiltepec, en el Estado de Oaxaca se llama **Costa Chica**; al resto se le nombra simplemente **Costa**.

Cabe aclarar que la Clasificación en Costa, Costa Grande y Costa Chica, obedece a la longitud de planicie que cada una ocupa; de mayor a menor respectivamente. En cuanto al término Región, este se ha utilizado para diferenciar a las unidades orogénicas o cadenas montañosas de nuestro país, de las planicies o llanuras a las que se les ha nombrado Regiones Geomórficas.

El municipio de Santiago Pinotepa Nacional, pertenece a la región de la Costa Chica del Estado de Oaxaca, está localizado en las coordenadas 16° 20' latitud norte y 98° 03' de longitud oeste, con una altura de 210 msnm. Colinda al norte con los municipios de Santiago Llano Grande, San Sebastián Ixcapa, San Miguel Tlacamama y Pinotepa de Don Luis; al este con los municipios de San Andrés Huaxpaltepec y Santa María Huazolotitlán. Al oeste con los municipios de Santa María Cortijo, San Juan Estancia Grande y Santo Domingo Armenta y al sur con el Océano Pacífico



Fig. No. 1



Fig. No. 2

1.2 Vías de comunicación

La distancia del municipio de Santiago Pinotepa Nacional a la capital del Estado es de 397 kilómetros; sus principales vías de comunicación son: La carretera federal 200 que ingresa por el Oeste proveniente del Estado de Guerrero, bordea toda la costa oaxaqueña; la primera cabecera municipal que enlaza es San José Estancia Grande, continúa hasta Santiago Pinotepa Nacional, sigue hacia San Andrés Huaxpaltepec, Santiago Jamiltepec, Puerto Escondido, Bahías de Huatulco, Santiago Astata, Salina Cruz, Santo Domingo Tehuantepec, Juchitán de Zaragoza, Santo Domingo Ingenio, Santiago Niltepec, Santo Domingo Zanatepec, San Pedro Tepanatepec y Chahuities, para salir y penetrar al Estado de Chiapas.

La carretera federal 125 se une a la carretera federal 200 a la altura del sitio conocido como el retén, un poco antes de llegar a Santiago Pinotepa Nacional; continua por San Sebastián Ixcapa, San Juan Cacahuatepec, San Pedro Amuzgos, Santa María Zacatepec, Mesones Hidalgo hasta llegar a Putla Villa de Guerrero de donde continúa a la Heroica Ciudad de Tlaxiaco, para luego unirse a la carretera federal 190, misma que comunica a la capital del Estado.

No se cuenta en la región con ninguna vía férrea, la mas cercan se localiza en la capital del Estado o hasta Salina Cruz a mas de 400 kilómetros.

En cuanto a puertos y aeropuertos, los mas cercanos al municipio son Acapulco y Puerto Escondido, ambos casi equidistantes.

1.3 Población

El municipio cuenta con una superficie de 719.56 km², una población de 50,309 habitantes, según el censo de población y vivienda 2010; distribuida en 33 agencias municipales y la cabecera municipal. Su población, es un mosaico de razas; producto del mestizaje de blancos de origen español, indígenas autóctonos y negros de origen africano. Destacan de estas dos últimas razas; los indígenas del pueblo de Santa María Jicaltepec, por conservar casi intactas sus costumbres, su orgullo y su dialecto. En tanto que los miembros de la raza negra de los pueblos de Collantes, Corralero y Piedra Blanca principalmente; son los que gozan todavía de una pureza de su sangre africana única en el país.

1.4 Educación

En cuanto a la cantidad de escuelas de nivel básico, el municipio cubre satisfactoriamente la demanda de sus estudiantes; el reto es aumentar el número de escuelas de nivel medio superior y superior. La cabecera municipal cuenta con 3 Centros de Castellanización, 8 Jardines de Niños, 14 Escuelas Primarias, incluida una bilingüe, 5 Escuelas Secundarias, incluida una para trabajadores, dos Escuelas de Nivel Medio Superior y un Instituto Tecnológico Agropecuario. Se construye actualmente la primera universidad.

En cuanto a las Agencias Municipales, todas cuentan con Jardín de Niños, Escuela Primaria y Escuela Secundaria o Telesecundaria.

Al igual que el resto de los municipios de la región, lo que preocupa desde hace ya muchos años, a los padres de familia y a las autoridades, es la calidad de la educación; que simplemente no mejora. Siendo la educación, el máximo valor del que disponen hombres y mujeres, los pueblos y ciudades, y aún países enteros para enfrentarse a los retos que impone el siglo XXI; el rezago en este campo pone a los municipios de la región y a sus habitantes en franca desventaja, para defenderse de los embates cada vez más severos del mundo actual.

1.5 Recursos Naturales

Las modalidades que el hombre impone al uso de los recursos naturales están determinadas por el medio geográfico natural, en la medida en que de él se obtienen en principio todas las materias primas para la producción de bienes materiales; y por las condiciones políticas, económicas y sociales, ya que ellas establecen las relaciones y formas específicas de producción. El conocimiento de estos grandes marcos de acción es necesario para poder plantear qué recursos hay en la naturaleza susceptibles de ser aprovechados, cuáles requieren ser protegidos y, en su caso, cuáles son las condiciones políticas y sociales que el hombre tiene para poder obtener satisfactores de los recursos que la naturaleza le ofrece.

Pocos municipios en el país, son tan afortunados como Santiago Pinotepa Nacional al contar con una posición geográfica envidiable para el comercio, la industria, tierras y aguas propicias para las actividades agrícolas, y ganaderas pues tiene acceso a los dos principales ríos de la región: el río Cortijos y el río de la Arena.

Posee más de 40 kilómetros de litoral y lagunas en el Océano Pacífico, con amplio futuro para la pesca, la industrialización de la sal y el turismo. Tiene también la tentadora y prometedora empresa de volver a echar andar el Puerto Minizo, habilitado por el gobierno virreinal, a principios del siglo XVIII para tráfico de cabotaje y clausurado por el presidente Benito Juárez en 1870. Construyendo una escollera este puerto tendría una excelente protección y se volvería el mejor entre Acapulco y Puerto Escondido.

1.6 Necesidades

La Economía admite las necesidades como deseos alcanzables; satisfacer una necesidad supone la desaparición de ese deseo para el restablecimiento del equilibrio. Necesidades como alimentación, salud, empleo, educación y vivienda, ejemplifican este concepto; pues por alguna razón estas necesidades están presentes en el hogar, la calle, los medios, etc.

También califica como bienes económicos los que, siendo necesarios para satisfacer las necesidades humanas, son escasos, no son accesibles de forma inmediata y cuya obtención, en muchos casos, presentan ciertos grados de dificultad.

Que mejor ejemplo para iniciar la lista de necesidades de Pinotepa Nacional, que el agua: Una necesidad que satisface la sed y la higiene; también un bien al que, en estos momentos no se tiene acceso de forma inmediata.

Agua potable. Este servicio desde que se inauguró en 1944 nació con deficiencias; pues al poco tiempo empezó la escasez del líquido en la red. Los costeños poseen la cualidad de componerle versos a todo y es así que se hizo popular un verso, al parecer de la autoría de Don Heriberto Pérez; el boticario del pueblo, que reza:

“Que bonita es Pinotepa
con sus calles empedradas
con sus tuberías sin agua
y un calor de la chingada”

En los casi cincuenta años de la aparición de aquel verso, cambiaron muchas cosas: Sus calles empedradas se cambiaron por pavimento asfáltico, la villa se convirtió en ciudad, pero las tuberías continúan sin agua.

Garantizar el aprovisionamiento de agua potable para la población actual y para las generaciones futuras; es solo uno de los retos urgentes del municipio.

Drenaje. Tan importante es para una comunidad aprovisionarse de agua potable, como procurar su desalojo de manera responsable, segura y ordenada. Requiere el municipio urgentemente de un sistema de drenaje; preferentemente de tipo separado, que permita el aprovechamiento de las agua pluviales y el saneamiento a menor costo de las aguas negras.

Salud. Cuenta el municipio con un centro de salud y un hospital regional, insuficiente todavía para cubrir la demanda de mas de 50,000 personas. Por lo que hacen falta clínicas familiares para la salud preventiva y un hospital de especialidades. Por ser el municipio el centro cultural, comercial y financiero de la región, y sin proponérselo, es virtual responsable de brindar salud y educación no solo a sus habitantes, sino también a los habitantes de los 23 municipios restantes de la Región de la Costa Chica.

Educación. Hace falta una Universidad Tecnológica para dar inicio al desarrollo industrial y una universidad Pedagógica donde el profesorado del municipio y los municipios vecinos puedan actualizarse y realizar estudios de posgrado. Así mismo crear una red de bibliotecas tanto para la cabecera municipal como para sus agencias municipales y muchos, muchos centros de cómputo para formar a la nueva generación de estudiantes cibernéticos.

Mejorar la calidad de la educación, el reto mas urgente de los próximos años.

Vías de comunicación. Se dice que sin vías de comunicación Roma no hubiera alcanzado el poder y esplendor que llegó a tener. Este ejemplo se aplica actualmente a dos países que son potencia del mundo actual: Francia y Estados Unidos; ambos poseen un kilómetro de vías terrestres por cada kilómetro cuadrado de territorio. Un buen parámetro para valorar la importancia que tienen las vías de comunicación en toda comunidad, sea esta grande o pequeña, de antes o después de Cristo.

Requiere el municipio, mejorar y ampliar su red de carreteras; que le permita incrementar el comercio con los municipios vecinos, con el Estado de Puebla principal proveedor de bienes muebles, mercancías y otros enseres. Con el puerto de Acapulco y la ciudad de México.

No debe pasarse por alto que las vías de comunicación, no se limitan solamente a las carreteras, también se incluyen, las vías férreas, el transporte aéreo y marítimo. La región y el municipio mucho se beneficiarían de contar con todas ellas, ¿son posibles? Aunque ahora parezcan una utopía; si son posibles.

Protección Civil. En esta materia, se requiere al menos una estación de bomberos, una red de comunicación con todas las agencias municipales y muy importante, la construcción de albergues. Estando el municipio en una zona costera, donde los huracanes golpean con mayor fuerza y frecuencia; además de pertenecer a una zona altamente sísmica, la prevención y la protección, se vuelven dos temas con carácter de imprescindible.

Medio ambiente. Urgente el saneamiento del Río de La Arena en su tramo de aguas abajo del puente, la planeación de un relleno sanitario y el tratamiento de las aguas residuales. Así mismo crear un área de reserva ecológica que a futuro garantice: La protección de especies animales y vegetales de la región, la recarga de los mantos acuíferos y aire limpio para los pinotepenses. Sabemos que Pinotepa tiene que crecer, pues mas y mas personas cada vez requieren de una vivienda; pero este crecimiento tiene que ser ordenado. La planeación responsable de los nuevos asentamientos, es una tarea que mucho ayuda al cuidado del medio ambiente.

1.7 Economía

La base de la economía del municipio, es el comercio; tanto de productos elaborados como del campo. Entre los primeros destacan: productos de consumo básico, electrodomésticos y bienes muebles, los cuales provienen principalmente del Estado de Puebla, Estado de México y el D. F. En cuanto a los productos del campo, el mercado municipal se engalana diariamente con la enorme variedad de frutas, verduras, lácteos, cárnicos, animales de corral y uno que otro producto “raro” como las chicatanas, la tichindas o las iguanas.

Le siguen en importancia, la agricultura, la ganadería y la pesca; mismas que como sabemos son actividades de autoconsumo. En último lugar, no por ser menos importantes sino porque es la actividad que engrandece al municipio y le da identidad: el comercio de artesanías, elaboradas principalmente por mujeres indígenas. El municipio no inicia todavía el proceso de industrialización, como tampoco ha incursionado en los servicios de turismo, dos de los detonadores para el crecimiento de su Economía. Como todos los municipios en el país, también se beneficia de las remesas que envían compatriotas radicados en Estados Unidos y Canadá.

2. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA CUENCA RIO DE LA ARENA

2.1 Regionalización Fisiográfica

Antes de describir la Regionalización Fisiográfica de la zona en estudio, cabe hacer un breve paréntesis, para hacer un breve recordatorio del tema:

Morfología de la República Mexicana.

Elementos: Son las unidades orogénicas que caracterizan el relieve; esto es, sierras, cordilleras y mesetas. Nuestro país consta de diez de estas unidades, mismas que se listan a continuación:

- 1.- Sierra Madre Occidental
- 2.- Sierra Madre Oriental
- 3.- Cordillera Neovolcánica
- 4.- Sierra Madre del Sur
- 5.- Sierra Madre de Oaxaca
- 6.- Portillo Ístmico
- 7.- Sierra Madre de Chiapas
- 8.- Meseta Central de Chiapas
- 9.- Plataforma Yucateca
- 10.- Sistema Sudcaliforniano

Regiones geomórficas: Son las depresiones, llanuras o planicies que se forman en torno o en medio de las unidades orogénicas. Las existentes en nuestro país son:

- I. Planicie Costera Nororiental
- II. Planicie Costera de Sotavento
- III. Planicie Costera del Sureste
- IV. Altiplanicie Septentrional
- V. Altiplanicie Meridional
- VI. Depresión del Balsas o Austral
- VII. Valle Central de Chiapas
- VIII. Planicie Costera Noroccidental
- IX. Planicie Costera Sudoccidental
- X. Planicie Costera Ístmica-Chiapaneca
- XI. Vertiente Oriental Sudcaliforniana
- XII. Vertiente Occidental Sudcaliforniana

Provincia Sierra Madre del Sur. Se extiende mas o menos paralela a la costa del océano Pacífico, desde punta de Mita en el Estado de Nayarit hasta el istmo de Tehuantepec, en Oaxaca. Tiene una longitud de aproximadamente 1200 kilómetros, con una anchura media de 100 kilómetros; que en el Estado de Oaxaca se amplía hasta 150 kilómetros. Su planicie costera es angosta, 50 a 100 kilómetros y en algunos lugares falta; posee la característica de tener su cresta a una altitud casi constante de poco mas de 2,000 metros, excepto en unas cuantas cimas elevadas que no pasan de 2,500 metros. La Sierra Madre del Sur limita con las provincias: Eje Neovolcánico, al norte, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala y Cordillera Centroamericana, al oriente; al sur y oeste colinda con el océano Pacífico.

Es considerada la región mas compleja y menos conocida del país, debe mucho de sus rasgos particulares a su relación con la Placa de Cocos. Esta es una de las placas móviles que hoy se integran a la corteza exterior terrestre (litósfera). La placa de Cocos emerge a la superficie en el fondo del océano Pacífico al Oeste y Suroeste de las del Pacífico Mexicano, hacia las que se desplaza con lentitud (2 ó 3 centímetros por año) para encontrar a lo largo de las mismas el sitio de “subducción” donde se hunde hacia el interior del planeta.

A esto se debe la fuerte sismicidad que se produce en la región, en particular sobre las costas Guerrerenses y Oaxaqueñas.

Subprovincia Cordillera Costera del Sur.

Es el extremo oriental de la Cordillera Costera del Sur el que se localiza en el Estado de Oaxaca, del cual comprende la zona que va en dirección Norte-Sur por el costado Oeste, desde Fresnillo de Trujado hasta el Norte de Mesones de Hidalgo, de donde en sentido Sureste llega al Oriente de la localidad de Pluma Hidalgo. Limita con las subprovincias: Sierras Centrales de Oaxaca, al Este; y Costas del Sur en su borde meridional. Estos terrenos representan 17.78% de la superficie de la entidad y pertenecen a fracciones de los Distritos de Silacoyoápam, Huajuapam, Tlaxiaco, Putla, Sola de Vega, Zimapán, Ejutla, Jamiltepec, Juquila, Miahuatlán y Pochutla.

En la porción Oaxaqueña de la subprovincia dominan rocas metamórficas del Precámbrico, también hay rocas ígneas intrusivas del Mesozoico hacia el norte, noroeste y oeste de Santa Catarina Juquila.

Subprovincia Costas del Sur

Esta subprovincia comprende la angosta llanura costera del Pacífico, que va mas o menos en sentido Oestenoroeste-Estesureste, desde las cercanías de la desembocadura del río Coahuayana, límite entre Colima y Michoacán de Ocampo, hasta Salina Cruz Oaxaca pasando por el Estado de Guerrero. En sus tramos mas angostos tendrá unos 20 kilómetros de ancho; comienza a ampliarse a la altura de Zihuatanejo para alcanzar un máximo de 45 kilómetros en la Región de Santiago

Pinotepa Nacional, Oaxaca. En Oaxaca abarca parte de los Distritos de Jamiltepec, Juquila, Miahuatlán, Pochutla, Yautepec y Tehuantepec; terrenos que representan 12.26% del área estatal, colinda al norte con las Subprovincias Cordillera Costera del Sur y Sierras Orientales, al Este con la **Discontinuidad fisiográfica Llanura del istmo** y al Sur con el Océano Pacífico, la zona está conformada por sierras, llanuras lomeríos; las primeras se localizan a lo largo del límite Norte de la subprovincia, se aproximan al litoral cerca de San Pedro Pochutla y Salina Cruz y están constituidas predominantemente por **rocas metamórficas precámbricas**, aunque en el oriente se encuentran **rocas metamórficas y sedimentarias del cretácico, igneas intrusivas del Mesozoico e igneas extrusivas del Terciario**. Las llanuras se encuentran a lo largo de la faja costera, cubiertas por **suelos del Cuaternario** principalmente; y los lomeríos se hallan entre las sierras y las llanuras; solo dos de las unidades llegan al litoral, una en Puerto Ángel y otra en Barra de la Cruz.

2.2 Topografía.

México, tiene tradición cartográfica, desde antes de la conquista se había alcanzado un grado de conocimiento del territorio, que se utilizó mas tarde por los conquistadores.

En el siglo XVII la cartografía Mexicana tuvo un avance significativo con la preparación de cartas que mejoraron la representación del país, así como la preparación de cartas de la Cuenca de México y de sus vecindades, a consecuencia de los estudios para resolver el problema del desagüe.

En 1768 el padre José Antonio Alzate Ramírez imprimió en París una Carta del Virreinato de México, que se consideró la mejor hasta la publicación de los trabajos de Humbold.

A principios del siglo XIX llegó el ilustre barón Alejandro de Humbold, quien visitó una ancha faja del país: de Acapulco a Veracruz, con los materiales existentes preparó el Atlas de la Nueva España.

A fines de 1850 la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística recopiló todos los levantamientos realizados por particulares, logrando terminar la Carta General de la República.

En 1856 el Ingeniero Antonio García Cubas publicó su Atlas Geográfico-Histórico-Estadístico de la República Mexicana.

En 1878 se creó la Comisión Geográfica Exploradora, la cual en sus 36 años de existencia (desaparece en 1914) realizó trabajos en los Estados de Puebla, Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León, Tlaxcala y Morelos que permitieron publicar las cartas de esas entidades a escala de 1:500,000.

Para el estudio en cuestión se utilizaron las cartas topográficas **Santiago Pinotepa Nacional E14D74 y Santiago Jamiltepec E14D74**, las cuales están a escala

1:50,000 con curvas de nivel a cada 20 metros. Editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

2.3 Climas

El territorio de Oaxaca se encuentra situado en la zona intertropical, en la porción mas cercana a la faja ecuatorial, ahí, las temperaturas en general son altas, ya que los rayos solares llegan a la superficie con ángulo de inclinación menor al de las demás áreas del planeta e inciden de manera vertical dos veces al año. Esta condición de altas temperaturas se ve modificada por la altitud, de tal forma que a nivel del mar a cerca de los 1,000 metros, lo cual corresponde a poco menos de la mitad del suelo Oaxaqueño, las temperaturas medias anuales van de 30.0°C a 22.0°C, dándoles el carácter de cálidas, tal como ocurre en el sur sobre toda la franja costera.

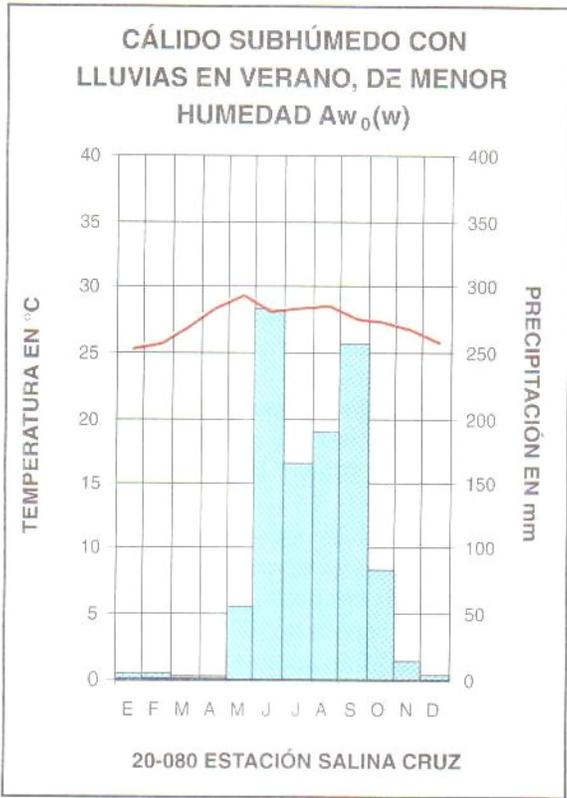
La cercanía del Océano Pacífico a la zona sur de Oaxaca, modera en ella la temperatura, disminuyendo la variación diaria y anual, así la oscilación térmica media anual, es decir, la diferencia entre la temperatura media del mes mas caliente del año y la del mes mas frío, es baja (menor de 5.0°C).

La cantidad de lluvia y su distribución a lo largo del año, se relacionan, en mayor o menor grado, tanto con los factores mencionados como con la humedad de los vientos y masa de aire. La combinación de esos dos elementos (temperatura y precipitación) origina el predominio de climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano.

El clima en esta zona es Cálido Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Menor Humedad y ocurre en 12.54% del territorio estatal. Ocupa la franja costera mas próxima al Océano Pacífico, de Santiago Tapextla en el Oeste a las inmediaciones de la Laguna Inferior en el Este, se introduce por el último punto hasta el origen del río Tehuantepec. Esta zona tiene una altitud del nivel del mar a 400 metros. La temperatura media anual que lo caracteriza va de 22.0°C a poco mas de 28.0°C, el mes mas frío tiene una temperatura media mayor de 18.0°C y la precipitación total anual varía entre 700 y 1200 mm.

Registros hidrométricos de Santiago Pinotepa Nacional, señalan que el 9 de enero de 1956 se midió la temperatura mas baja: 9 °C ese mismo año la lluvia alcanzó los 3,269 mm. Por varios años se ha alcanzado los 42 °C. Mientras que el municipio donde se ha alcanzado la temperatura mas alta es Santiago Ixtayutla: 47 °C obtenida en el mes de mayo de 1964.

La estación meteorológica, con mayor periodo de registro de datos en la región, es la de Salina Cruz (20-080); la cual se muestra a continuación:



Mes	Temperatura en °C	Precipitación en mm
Enero	25.5	4.0
Febrero	25.8	3.0
Marzo	27.0	1.4
Abril	28.4	2.2
Mayo	29.4	55.8
Junio	28.2	281.0
Julio	28.5	164.1
Agosto	28.6	190.1
Septiembre	27.6	255.2
Octubre	27.4	82.7
Noviembre	26.7	14.3
Diciembre	25.8	4.0
Anual	27.4	1 057.8

2.4 Geología

El Estado de Oaxaca presenta las características geológicas más complejas del país, debido a la serie de eventos tectónicos superpuestos que han ocurrido en su territorio a lo largo del tiempo geológico y que generaron, por consecuencia, una gran diversidad de unidades litológicas aflorantes.

Desde el Proterozoico Tardío, la región fue afectada por eventos que definieron tres procesos geomorfológicos sobresalientes: el más importante, que originó las montañas complejas de la **Sierra Madre del Sur**, constituidas por rocas metamórficas, volcánicas e inclusive sedimentarias de origen marino y continental, afectadas en su conjunto por cuerpos batolíticos; el segundo en importancia, consiste de montañas bajas y lomeríos de rocas sedimentarias, plegadas por efectos de diversos grados de tectonismo; el tercer elemento geomorfológico, lo constituye un paisaje volcánico de lomeríos, producto de derrames y material piroclástico.

Las sierras altas se caracterizan por riscos y escarpes disectados por profundos cañones y barrancos, observándose en las de origen marino, la presencia de un sistema cárstico que ha labrado dolinas y sumideros. Las montañas bajas y lomeríos presentan mesetas disectadas ocasionalmente por angostos cañones, desde donde las elevaciones disminuyen en forma paulatina hasta formar planicies sedimentarias que constituyen la faja costera en el sur de la entidad.

En la entidad se tienen afloramientos metamórficos extensos, ampliamente distribuidos, son del Precámbrico al Cenozoico (Terciario); en diversas zonas del Estado, se presentan rocas ígneas intrusivas y extrusivas, las cuales son del Paleozoico al Cenozoico (Terciario), mientras que los afloramientos de unidades sedimentarias se distribuyen en forma de promontorios aislados en todo el territorio estatal, su edad varía desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. Por último, los depósitos recientes (suelos) se disponen sobre todo como planicies costeras, valles intermontanos, planicies aluviales y valles fluviales.

Geología histórica

La historia geológica en el Estado de Oaxaca registraron grandes y complejos disturbios tectónicos, iniciando durante el Precámbrico con la Revolución Herciniana, considerada como la más antigua en actuar sobre este territorio, formando un cratón, parte consolidada de la corteza terrestre, esto bajo condiciones de metamorfismo de alto grado, que generó así el basamento cristalino constituido por rocas tipo gneis. Posteriormente, en el Precámbrico Tardío, las orogénias Oaxaqueñas y Grenvilliana provocan fuertes disturbios tectónicos debidos al proceso de subducción y magmatización de una placa oceánica.

A principios del Paleozoico, diversos eventos de actividad plutónica y volcánica de la Revolución Apalachiana, provocan el metamorfismo regional que incide en toda la faja de rocas cristalinas graníticas y granodioríticas hacia la costa del Océano Pacífico y afecta la secuencia de sedimentos arcillo-arenosos depositados sobre el basamento precámbrico, lo que dio origen a la formación de esquistos, gneises y cuarcitas.

Durante el Triásico, por efectos de la Revolución Palizada, se manifestó un plegamiento que causó depresiones, aunado a una gran emersión en forma de península, lo cual favoreció la formación de rocas metamórficas como esquistos y gneis, afectadas por diversos grados y facies de metamorfismo. En este evento, la erosión se vuelve el proceso geológico dominante, para continuar así hasta el Jurásico Inferior.

En el Jurásico Medio se presentaron depósitos alternantes de rocas continentales y marinas de composición arcillo-arenosa, conglomerados y calizas de plataformas, intrusionadas por diques granodioríticos, hasta que en el Jurásico Superior se retiran paulatinamente los mares a consecuencia de los disturbios de la Orogenia Nevadiana.

Al transcurrir el Cretácico Inferior, el periodo de transgresiones marinas alcanza su máximo avance, dando lugar a la formación de diversas rocas sedimentarias y yesos, que al ser erosionados, depositaron discordantemente material detrítico sobre el complejo basal de rocas cristalinas, al mismo tiempo que ocurre otro periodo de intrusiones graníticas.

A fines del Cretácico Superior y principios del terciario, tuvo lugar el gran evento tectónico conocido como Revolución Laramide, en donde los esfuerzos de tensión y compresión, provocaron una emersión del continente, dando lugar a la sedimentación marina y separando en esta región el Océano Pacífico del Océano Atlántico, manifestándose por los enormes depósitos de sedimentos continentales clásticos o lechos rojos, asociados con rocas volcánicas andesíticas y sedimentos piroclásticos de la misma composición.

Finalmente, al concluir el Terciario y dar inicio el Cuaternario, ocurren los depósitos volcánicos de composición ácida a intermedia, asociados aún a leves movimientos orogénicos.

Geología Estructural

Los rasgos estructurales en esta región sufrieron gran influencia de los efectos orogénicos registrados desde el Precámbrico; sin embargo, es hasta el Triásico cuando las transgresiones marinas cesan y grandes extensiones del territorio Oaxaqueño se mantienen emergidos, como un área continental; mientras que en las zonas con invasión marina se genera un ambiente mixto de depósito, con alternancia de rocas de origen continental y marino, acompañado de periodos de

plegamiento intenso y movimientos verticales causados por intrusiones, que definieron entonces, la mayor parte de los rasgos estructurales de la región.

En el Precámbrico tardío, los eventos tectónicos de las orogenias Oaxaqueñas y Grenvillana, tuvieron como resultado la formación del complejo Oaxaqueño y del complejo Xolapa, con afloramientos rocosos que posiblemente constituyen un cinturón metamórfico que se extiende desde el sureste de Canadá, hasta la parte centro meridional del Estado de Oaxaca.

Durante el Paleozoico, con la Orogenia Apalachiana, los sedimentos arcillo-arenosos que subyacen al basamento metamórfico del Precámbrico, fueron afectados por esfuerzos de compresión en direcciones noroeste-sureste, este-oeste y norte-sur, que generaron pliegues recostados y cabalgaduras, así como zonas de fallas orientadas en dirección noreste-suroeste y fallas escalonadas con orientación principal noroeste- sureste, lo cual dio lugar a la edificación de la Sierra Mixteca y de la Sierra Juárez, que representan la continuación de la Sierra Madre Oriental y de la Sierra Madre del Sur, formando en la intersección de éstas últimas el denominado **Nudo Cempoaltépetl**.

La porción mas antigua de la Sierra Madre del Sur está constituida por rocas metamórficas que afloran en toda la parte meridional del Estado, en donde se presentan intrusiones de cuerpos graníticos como el Batolito de Chiapas, el Batolito La Mixtequita y el Batolito Juchatengo, así como el Tronco Granítico de ETLA.

Hacia el Mesozoico, durante el Triásico, los movimientos de distensión de la Orogenia Palizada, dieron lugar a la formación de fosas tectónicas que originan fracturas y fallas importantes, mientras que la actividad tectónica del Jurásico y Cretácico Inferior, conocida como Orogenia Nevadiana, resulta una discordancia angular en la base del Cretácico Superior.

A fines del Cretácico y principios del Terciario, el tectonismo de la Orogenia Laramide provocó, durante la etapa de esfuerzos compresivos, pliegues y fallas aunados a la emersión del continente, así como la regresión de los océanos hacia el oriente, dando a las estructuras una orientación general noroeste-sureste.

En el Terciario Inferior, durante la Eoceno-Oligoceno, la entidad fue sometida a la fuerza de empuje en tres direcciones deformantes la primera, de noroeste-sureste, que dio lugar a los pliegues de la región Cañada y a las cabalgaduras de Vista Hermosa y de la Sierra del Pedernal; la segunda, de este a oeste, está representada por los pliegues recostados en las áreas de Zapotitlán Salinas y Miahuatpec. La otra dirección de empuje es de norte a sur, y su mejor expresión se presenta en los Pliegues de Cipiapa. Finalmente, al actuar conjuntamente estos tres sistemas de empuje, produjeron la zona de fallas normales e inversas en la parte norte de la entidad.

Durante el Terciario Superior, se presenta actividad tectónica con esfuerzos de tensión que originan fracturas y grandes fallas normales, seguidas por una intensa actividad volcánica asociada a zonas de debilidad.

En la Actualidad, el contacto entre la **Placa de Cocos** (basáltica) y la **Placa de Norteamérica** (continental granítica), forma la gran Trinchera Norteamericana, que constituye la zona de subducción o litósfera que vuelve a ser asimilada por el manto al avanzar la Placa de Cocos debajo de Placa de Norteamérica, lo cual origina las zonas de perturbación en la corteza terrestre que son responsables de los movimientos sísmicos que se registran en las costas de los Estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán.

Sismología

La sismología es la rama de la Geología que se ocupa del estudio de los sismos o terremotos, que son sacudidas breves, intensas y temporales de la corteza terrestre.

Los terremotos se producen sobre todo en los bordes de las placas litosféricas, alcanzando muchas veces mas violencia en las zonas de subducción –en la que una placa tectónica se desliza bajo otra-. La energía producida por un terremoto se propaga, a través de tres tipos principales de ondas: ondas P. ondas S y ondas L. Son estas últimas, las ondas superficiales, que se desplazan mas lentamente, las que transmiten el grueso de la energía del sismo, pudiendo provocar efectos catastróficos al aflorar a la superficie.

Los aparatos que se emplean para detectar un terremoto son los sismógrafos. Un sismógrafo, a grandes rasgos, consta de un cuerpo de masa suficiente para que su inercia le permita permanecer quieto mientras el resto del aparato se mueve. Las oscilaciones producidas por la llegada de las ondas sísmicas son registradas por un trazo sobre un rollo de papel que gira constantemente.

Para medir la intensidad de los sismos se ha utilizado la escala de Mercalli, que evalúa la intensidad de aquellos por los efectos que tienen en zonas habitadas; evidentemente estos resultados dependen de diversos factores (por ejemplo, la calidad de las construcciones), y no solo de la magnitud del sismo. La escala de Richter, mas empleada en la actualidad, se basa en la medición de la amplitud de las ondas sísmicas; establece 10 grados de intensidad, la intensidad del sismo es independiente de los daños que pueda ocasionar.

Buena parte de los terremotos detectados por la red de sismógrafos, algunos de gran intensidad, se producen en regiones despobladas y, debido a su escasa o nula repercusión en las actividades humanas, su noticia no salta a los titulares de los medios noticiosos. Pasan inadvertidos para la mayoría de la gente, salvo para los científicos que siguen empeñados en buscar los elementos que permitan algún día predecir la fecha y el lugar donde se va a producir un terremoto. Hasta el momento no ha sido posible en ningún país prever con suficiente antelación la llegada de un terremoto.

La República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas. Esto se realizó con fines de diseño antisísmico. Para realizar esta división (Figura No. 4) se utilizaron los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo,

grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en este siglo. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo. La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. En estos momentos precisamente y debido al sismo de 7.4 grados en la escala de Richter, ocurrido el pasado 20 de marzo del presente año; la región de la Costa Chica se encuentra inmersa en una crisis por los daños severos sufridos por municipios como Ometepec, Cacahuatpec, Santiago Pinotepa Nacional y al menos veinte municipios mas. Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.



Fig. No. 4

ESTRATIGRAFÍA

Las rocas que afloran en la entidad muestran una geocronología que comprende desde el Precámbrico hasta el Cenozoico (Reciente). Las rocas que se encuentran principalmente son las metamórficas y las sedimentarias, y en menor proporción se presentan las ígneas extrusivas y los depósitos recientes. La reseña de las unidades litológicas se hace en orden cronológico, de la mas antiguas a la mas reciente; además, solo se describen las mas relevantes, así como las de mayor superficie.

Mesozoico

JURÁSICO

Dos son las unidades geológicas que predominan en la región de estudio: La primera y mas importante es la unidad J(Gn) perteneciente al Mesozoico Jurásico, la cual forma parte de la franja metamórfica denominada Complejo Xolalpa, el cual es un cinturón metamórfico de baja presión y alta temperatura, característico de una zona orogénica circunpacífica, originado como expresión orogénica de la subducción de la placa oceánica bajo el borde de la corteza continental Americana. Esta unidad es una de las rocas mas antiguas de la entidad, ocupa en la región la mayor superficie; consta de una asociación de Gneis, esquisto, granulito, granodiorita gneísica y metagranito. El Gneis tiene textura granoblástica, pertenece a las facies de anfibolita de almandino y esquistos verdes, de la clase química cuarzo feldespática; presenta minerales como cuarzo, oligoclasa, andesina, ortoclasa, biotita, moscovita, almandino, circón, turmalina, esfena, clorita, epidota, arcillas, piritita y hematina. La unidad presenta localmente carácter migmatítico, está afectada por diques aplíticos y de composición intermedia y abundantes vetillas de cuarzo, se encuentra con inemperismo profundo y presenta micropliegues. Se presenta como una franja angosta a lo largo del margen pacífico y se expresa como lomeríos y cerros de relieve discreto.

Cenozoico

TERCIARIO

La segunda es la unidad T(Igía), correspondiente al Cenozoico Terciario. Es una roca ígnea intrusiva ácida la cual incluye sobre todo granito, pero también se encuentran granodiorita, granito-granodiorita y granodiorita-tonalita. Afloran en forma de sierras altas de pendientes abruptas, cerros de poca altura con pendientes abruptas y lomeríos aislados. El inemperismo es profundo y produce esferoides, el fracturamiento es en dos direcciones perpendiculares entre si.

La unidad de mayor superficie es donde se asienta Santiago Ixtayutla, se trata de un granito de textura holocristalina porfídica, formada por cuarzo, ortoclasa, microclima, biotita y moscovita. El intemperismo es profundo y produce esferoides, el fracturamiento es en dos direcciones perpendiculares entre si. Intrusiona a las rocas metamórficas de los complejos Acatlán y Xolapa, en lo que es la zona de contacto entre ambos. Su relieve es de sierras altas de pendientes abruptas.

2.5 Hidrología Superficial

En el Estado de Oaxaca se presentan serios contrastes en la disponibilidad regional y temporal del recurso agua, regiones como la Cañada y la Mixteca registran valores raquíuticos de precipitación, que no facilitan la acumulación de agua en grandes cantidades; en cambio, en las sierras Mazateca, Juárez, Madre del Sur y Atravesada, se reportan algunas de las láminas de lluvias mas altas del país. El balance general del Estado en relación con los volúmenes utilizados contra los escurrimientos y disponibilidad de los acuíferos es positivo; el problema radica en la distribución real y temporal del recurso, ya que dentro del Estado ***no se cuenta con la adecuada infraestructura*** para el almacenamiento estratégico y posterior distribución; la abrupta topografía del territorio oaxaqueño no facilita el almacenamiento natural del agua, sea éste en el subsuelo o superficialmente.

Actualmente, la actividad industrial no presenta un desarrollo que demande grandes volúmenes de agua, el requerimiento es de solo 4.51 m³/s, que significan 142.18 Mm³; para el abastecimiento del sector agrícola se utiliza un volumen total de 1,477,275 Mm³ anuales, que benefician 89,473.4 ha; en general el incremento constante en la demanda del recurso es para uso doméstico, que genera el problema del manejo de grandes volúmenes de aguas negras. Es conocida la importancia del agua como sostén de los diferentes ecosistemas, hay zonas de la entidad que comienzan a tener problemas de saneamiento que repercuten en la variedad y en la calidad de vida de las distintas especies animales y vegetales.

La República Mexicana se divide en 37 Regiones Hidrológicas. Ver Figura No. 5 El Estado de Oaxaca cuenta con las siguientes Regiones Hidrológicas: RH-28, Papaloapan; RH-20, Costa Chica-Río Verde; RH-22, Tehuantepec; RH-21, Costa de Oaxaca (Puerto Ángel); RH-29, Coatzacoalcos; RH-18, Balsas; RH-23, Costa de Chiapas y RH-30, Grijalva-Usumacinta.



Figura No. 5 Mapa de las regiones hidrológicas de la República Mexicana

Región Hidrológica 20, Costa Chica-Río Verde (RH-20)

Una extensa área de esta región Hidrológica se encuentra en la porción suroeste del Estado de Oaxaca, se divide en tres cuencas: Río Atoyac (A) totalmente dentro del Estado, Río la Arena y otros (B) y Río Ometepec o Grande (C), estas dos últimas solo incluidas en territorio Oaxaqueño en forma parcial; el área de esta región hidrológica cubre una extensión de aproximadamente 24.14% del territorio estatal, es la segunda mas grande después de la Región Hidrológica Papaloapan, incluye distritos de las Regiones Mixteca, Valles Centrales, Sierra Sur y Costa; esta región limita al norte con las regiones hidrológicas Balsas (RH-18) y Papaloapan (RH-28); al este con la Región Hidrológica Tehuantepec (RH-22); al oeste con la Costa Grande (RH-19); mientras que al sur con la Costa de Oaxaca (Puerto Ángel) (RH-21) y con el océano Pacífico. Corresponde a terrenos de la ladera meridional de la Sierra Madre del Sur, es una de las zonas mas afectadas directa o indirectamente por las tormentas tropicales y los huracanes que se forman en las costas del Océano Pacífico; la precipitación total anual promedio para esta región se estima del orden de 1,226.9 mm, la infraestructura para aprovechar el agua superficial está integrada por 30 presas de almacenamiento, 134 presas derivadotas y 127 plantas de bombeo; destacan por su importancia la presa de almacenamiento Lic. Matías Romero,

construida en la parte alta del Valle de Etna, la Planta Potabilizadora del Fortín de la ciudad de Oaxaca de Juárez, el Acueducto Aeropuerto-Oaxaca y el Acueducto de San Antonio de la Cal, mientras que en la zona costera destaca la presa derivadora Río Verde.

Cuenca Río de La Arena y Otros (B).

La totalidad de esta cuenca, se encuentra en el distrito de Jamiltepec, mide 1358 km² y en su mayor longitud la corriente principal tiene un desarrollo de 75 km. Una porción de esta cuenca se encuentra en el extremo suroccidental del Estado, cubre un área que corresponde al 2.34% del territorio Oaxaqueño, Ocupa parte de las subprovincias fisiográficas Cordillera Costera del Sur y Costas del Sur, desde la desembocadura del Río Verde hasta el límite entre los Estados de Guerrero y Oaxaca.

Limita al norte con la cuenca Río Ometepec o Grande (C) de la (RH-20), al este con la cuenca Río Atoyac (A) de la misma (RH-20), al oeste limita con el Estado de Guerrero, y al sur con el Océano Pacífico.

En los años 1968,1969 la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección de Hidrología, llevó a cabo la continuación de un programa intensivo de publicación de boletines hidrológicos; esto como parte de un plan que tenía como propósito contar, en plazo muy breve con una colección completa de estas publicaciones que permitiera cubrir toda la extensión del país. Eran todavía, los años gloriosos del periodo de gloria de la agricultura mexicana: 1926-1976, vestigios de la Comisión de Irrigación; precursora de este histórico repunte.

El boletín No. 31 es parte de este esfuerzo, en él se incluyen además de la región hidrológica No. 20, la 19, 21 y 22. De las 37 regiones en que está dividido el país. Dentro de la información que aquí se publica respecto a la Cuenca Río de la Arena y otros, destaca el hecho de que hasta esa fecha, aún no se hacían observaciones hidrométricas en el Río de La Arena; así mismo destacan algunos cambios que van desde la nomenclatura hasta los datos numéricos, con respecto a la información que presenta la actual Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Los registros de precipitación varían entre 1,200 y 2,000 mm que en promedio equivalen a un volumen medio anual de 3,400.5 Mm³, de los cuales 768.5 Mm³ escurren hacia el mar, es decir el 22.6% de la precipitación.

El rango de escurrimiento mas bajo de la clasificación del INEGI va de 0 a 5%, el área que registra este intervalo comprende una pequeña zona de la porción suroeste de la cuenca, donde la precipitación alcanza valores de 1,200 mm, la permeabilidad dominante va de media a alta y la cubierta vegetal es de baja densidad; en otras zonas de la costa el porcentaje de escurrimiento es mayor, llega al rango que va de 5 a 20%, en estas zonas la precipitación se mantiene en 1,200 mm, la permeabilidad es media y la vegetación presenta densidad que varía de media a baja; las zonas con

rango de 20 a 30% cubren la mayor parte del área, donde los valores de precipitación máxima son del orden de 2,000 mm, la permeabilidad es media y la cubierta vegetal es densa. Estos escurrimientos generan corrientes permanentes e intermitentes de poco caudal entre las que destacan los ríos **La Arena y Salado**, el primero nace en la Sierra Madre del Sur a 700 metro de altitud, sigue en la dirección suroeste, a la altura de **Santiago Pinotepa Nacional** flexiona hacia el sur para finalmente desembocar al Océano Pacífico, forma pequeños playones y zonas de depósito de arenas a lo largo de su cauce, de ahí toma su nombre; por margen derecho recibe el caudal del Río Salado y por margen izquierdo se incorpora el Arroyo Grande; sus aguas se destinan principalmente a uso doméstico, pecuario y agrícola.

El Río Salado es el principal afluente del Río La Arena, tiene su origen en la Sierra Madre del Sur a 1,600 msnm, baja con dirección oeste hasta el poblado de San Cristóbal, después de algunos cambios bruscos de dirección se une al Río La Arena en San Agustín Chayuco. En la zona sureste de esta cuenca se encuentra la laguna Miniyua que se alimenta de corrientes intermitentes que nacen en los lomeríos que la circundan, en esta laguna se desarrollan actividades acuícolas, los productos que se obtienen son, camarón, ostión, mojarra, lisa, pargo y robalo entre otros.

2.6 Edafología

Los suelos son el producto de la interacción, a través del tiempo, del material geológico, clima, relieve y organismos. En el Estado de Oaxaca dominan las **topoformas** de sierras y lomeríos, que en conjunto constituyen aproximadamente el 80% y, junto con las condiciones climáticas, han tenido influencia en el intemperismo de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, para que a partir de la formación de sedimentos se haya dado lugar a la génesis de suelos jóvenes (litosoles, rendzinas y regosoles) en primer lugar, a suelos con desarrollo moderado (feozems, cambisoles, castañozems) en segundo y, en menor extensión, a suelos maduros (acrisoles, luvisoles, nitosoles). La vegetación ha contribuido con la aportación de materia orgánica para la formación de suelos como feozems, rendzinas, castañozems y algunas subunidades húmicas de acrisoles y cambisoles. Por lo anterior se considera que el intemperismo físico ha predominado sobre los procesos químicos y bioquímicos en la formación de los suelos. Algunos procesos formadores han sido la humificación de la materia orgánica para la formación de los horizontes **mólicos y úmicos** en suelos como los **feozems**, la formación de **arcillas** en horizontes superficiales y la posterior migración de ellas hacia horizontes mas profundos para la formación del denominado horizonte **argílico**, como también en algunas áreas muy localizadas donde el estancamiento de agua en el interior del

suelo y la acumulación de sales han ocasionado la formación de horizontes **gléyicos y sálicos**, respectivamente.

En general, existen limitaciones por fases físicas (**lítica, gravosa, pedregosa y petrocálcica**) en 75.25% de los suelos en el Estado y por fases químicas (**salina, sódica y salino-sódica**) en 1.12%, en tanto que los suelos profundos sin fase comprenden el 22.43%.

La textura media es la dominante en los 30 cm superficiales de los suelos, con 77.78%, mientras que la textura fina se encuentra en 12.01% y la gruesa solo en 9.03%, por lo que se puede decir que usualmente tienen buen drenaje interno.

Con respecto a la fertilidad inherente que presentan los suelos, se puede considerar que son de fertilidad moderada, con excepción de los **acrisoles, nitosoles** y algunas subunidades **dístricas y ferrálicas**, que son de baja fertilidad pues han perdido muchos de sus constituyentes que son fundamentales para el desarrollo de las plantas cultivadas, y en algunos casos la presencia de un nivel freático muy superficial y la presencia de sales también limitan o impiden ese desarrollo.

Las unidades de suelos presentes en el Estado, por orden de dominancia, son: **Regosol, Litosol, Cambisol, Acrisol, Luvisol, Feozems, Rendzina, Vertisol, Solonchak, Castañozem, Nitosol, Fluvisol y Gleysol.**

Cuadro No. 1

TEXTURA DE LOS SUELOS	cuadro 2
TEXTURA (DE LOS 30 cm SUPERFICIALES)	PORCENTAJE
Textura gruesa	9.03
Textura media	77.78
Textura fina	12.01
Cuerpos de agua	1.18
Total	100.00

Cuadro No. 2

UNIDADES DE SUELO	Cuadro 3
UNIDAD	PORCENTAJE
Gleysol	0.01
Fluvisol	0.13
Nitosol	0.20
Castañozem	0.32
Solonchak	0.59
Vertisol	2.38
Rendzina	2.60
Feozem	4.56
Luvisol	5.68
Acrisol	13.07
Cambisol	16.18
Litosol	20.04
Regosol	33.09
Cuerpos de agua	1.18
Total	100.00

Cuadro No. 3

FASES DE LOS SUELOS	Cuadro 1
FASES FÍSICAS Y QUÍMICAS	PORCENTAJE DEL TOTAL ESTATAL
Lítica a menos de 10 cm(litsoles)	20.04
Lítica	46.31
Petrocálcica	0.07
Pedregosa	3.39
Gravosa	5.46
Salina	0.01
Sódica	0.25
Salino-Sódica	0.86
Sin fase	22.43
Cuerpos de agua	1.18
Total	100.00

Unidades de suelos por orden de importancia en la zona de estudio.

Cambisoles

Suelos que se caracterizan por presentar un horizonte B cámbico; el horizonte cámbico es un horizonte alterado que se encuentra por lo menos a 25 cm de la superficie, su color es semejante al del material parental que le da origen, pero con más estructura de suelo que la roca, pues tiene consistencia friable y sin acumulación significativa de arcilla. El horizonte superficial es un horizonte A ócrico o un horizonte A úmbrico de color oscuro, contenido de materia orgánica mayor de 1%, bajo contenido de nutrientes para las plantas y pH ácido.

Este tipo de suelos ocupa 16.18% de la superficie estatal y más del 80% de la superficie de la zona en estudio. Son de origen residual formados a partir de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, como también de origen aluvial, y se encuentran en topoformas de sierras, lomeríos, valles, llanuras, en las que se presentan muy diversos climas.

Tienen algunas limitaciones, 34.72% con fase lítica, 32.17% con fases gravosa y pedregosa, y 33.11% no tienen ninguna limitante.

En la entidad existen varios tipos de cambisoles: **éutricos, crómicos, cálcicos, húmicos, dístricos, vérticos y ferrálicos.**

Los cambisoles éutricos en el Estado comprenden 72.11% de los cambisoles, y presentan únicamente la característica distintiva de la unidad, el horizonte B cámbico.

Tienen un horizonte A ócrico y saturación de bases de 50% al menos entre 20 y 50 cm de profundidad a partir de la superficie y no son calcáreos a esta profundidad.

Aproximadamente 35.62% están limitados por fases gravosa y pedregosa, 32.42% por fase lítica y 31.97% no presentan ningún tipo de limitante. La variación textural va desde arena, pasando por migajón arenoso y franca, hasta migajón arcilloso. Los colores que muestran son en general pardo, en ocasiones con tonos amarillentos o grisáceos. El pH fluctúa de fuertemente ácido a muy ligeramente alcalino (5.3-7.2) y los contenidos de materia orgánica de moderadamente pobres a ricos (5.3-7.2%).

Correspondientes con las texturas, la capacidad de retención de nutrientes es amplia, aunque domina la moderada, encontrándose estos sitios de intercambio saturados con bases en alto a muy alto porcentaje, con cantidades de sodio intercambiable muy bajas, de potasio bajas a muy bajas, moderadas a altas de calcio y moderadas de magnesio. Se localizan al sur de San Juan Cacahuatpec, oriente de Santa María Zacatepec, alrededores de Santa María Colotepec, Gustavo Días Ordaz, La Reforma y entre Unión Hidalgo y San Pedro Tepanatepec, entre otros.

En los cambisoles crómicos el horizonte B cámbico es de color pardo oscuro a rojo y de saturación de bases mayor de 50%.

Comprenden 8.91% de los cambisoles de la entidad, 35.62% están limitados por fase lítica y 7.09% por fase gravosa, mientras que 57.28% son suelos profundos sin ningún tipo de fase. Tienen variación texturales desde arena hasta migajones arcilloso-arenosos. El pH fluctúa de muy fuertemente ácido en los horizontes mas profundos hasta muy ligeramente alcalino en el horizonte superficial. Los contenidos de materia orgánica en el horizonte A van de extremadamente pobres hasta moderadamente ricos (0.6-2.7%). El potencial que tienen las partículas de estos suelos para absorber cationes (CICT) varía de bajo a moderado (2.5-25.5 meq/100g) y el complejo de intercambio se encuentra saturado con bases en cantidad moderada a alta (36.5-88.8%), siendo las cantidades de sodio intercambiable muy bajas, las de potasio bajas a muy bajas, las de calcio de muy bajas a moderadas y las de magnesio de muy bajas a muy altas. Se localizan al noreste de San Pedro Amuzgos, norte de San Andrés Huaxpaltepec y alrededores de de Morro Mazatán.

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: CAMBISOL ÉUTRICO

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Costas del Sur

Sistema de topofomas: Llanura costera con lomeríos

Horizonte A1

Profundidad 0-23 cm. Color pardo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: Moderado. Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte B1

Profundidad 23-34 cm. Color pardo-pardo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: Moderado.

Horizonte B2

Profundidad 34-78 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares

de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado.
Denominación del horizonte: Cámbico.

Horizonte C1

Profundidad 78-100 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de arena. Drenaje interno: Rápido

Horizonte	A1	B1	B2	C1
Profundidad (cm)	0-23	23-34	34-78	78-100
Textura:				
% de arcilla	8	6	6	2
% de limo	24	30	32	8
% de arena	68	64	62	90
Clasificación textural	Ma	Ma	Ma	A
Color en húmedo	7.5YR 3/2	7.5YR 4/4	7.5YR 4/5	7.5YR 4/6
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
pH en agua relación 1:1	6.2	6.5	6.9	7.2
% de materia orgánica	1.6	0.5	0.6	0.2
CICT (meq/100 g)	11.5	10.5	10.0	6.8
Cationes intercambiables:				
Potasio (meq/100 g)	0.42	0.32	0.26	0.13
Calcio (meq/100 g)	7.2	6.9	7.8	4.4
Magnesio (meq/100 g)	1.15	1.32	1.21	0.81
Sodio (meq/100 g)	0.03	0.03	0.03	0.03
% de saturación de bases	76.5	81.6	93.0	79.0
% de saturación de sodio	<15	<15	<15	<15
Fósforo (ppm)	25.9	15.0	10.76	-

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: CAMBISOL CRÓMICO

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Costas del Sur

Sistemas de topofomas: Lomerío con cañadas

Horizonte A1

Profundidad 0-14 cm. Color pardo grisáceo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: Moderado. Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte B1

Profundidad 14-27 cm. Color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arcillo-arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: Moderado.

Horizonte B21

Profundidad 27-52 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arcillo-arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: Moderado. Denominación del horizonte: Cámbico.

Horizonte B22

Profundidad 52-100 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo modeado. Drenaje interno: Moderado. Denominación del horizonte: Cámbico.

Horizonte	A1	B1	B21	B22
Profundidad (cm)	0-14	14-27	27-52	52-100
Textura:				
% de arcilla	20	30	26	18
% de limo	22	16	18	22
% de arena	58	54	56	60
Clasificación textural	Ma	Mra	Mra	Ma
Color en húmedo	10YR 4/2	10YR 4/4	7.5YR 4/6	7.5YR 5/6
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
pH en agua relación 1:1	5.4	5.2	5.0	5.0
% de materia orgánica	2.7	1.2	0.6	0.3
CICT (meq/100 g)	9.5	7.8	8.3	8.0
Cationes intercambiables:				
Potasio (meq/100 g)	0.16	0.12	0.18	0.15
Calcio (meq/100 g)	4.4	2.8	2.5	3.1
Magnesio (meq/100 g)	1.09	0.5	0.3	0.03
Sodio (meq/100 g)	0.05	0.02	0.03	0.02
% de saturación de bases	60.0	38.3	36.5	41.2
% de saturación de sodio	<15	<15	<15	<15
Fósforo (ppm)	2.4	2.4	2.1	-

Regosoles

Estos suelos ocupan el primer lugar de dominancia con 33.09 de la superficie estatal.

Se caracterizan por presentar un horizonte A ócrico, o bien, un horizonte gléyico a mas de 50 cm de profundidad. Cuando la textura es arenosa, estos suelos carecen de láminas de acumulación de arcilla, así como de indicios del horizonte cámbico u óxico. No están formados de materiales producto de la intensa remoción del horizonte superior, en solución o suspensión.

Son de origen residual formados a partir de rocas de muy diversa naturaleza: Ígneas, intrisivas ácidas, metamórficas, volcanoclásticas y sedimentaris, como también de origen aluvial a partir de sedimentos recientes; todos estos materiales conforman toposformas de sierras, lomeríos, mesetas y valles, en los que predominan muy diversos climas desde cálidos húmedos, pasando por los templados, hasta climas secos.

Se distribuyen en gran parte de la porción occidental y en áreas serranas colindantes con el Estado de Chiapas.

De estos suelos, 93.01% están limitados por fase lítica, 0.48% por fase gravosa y 0.30% por fase pedregosa; los que tienen limitantes químicas (fase salina y fase sódica) comprenden 1.58%, mientras que los profundos sin ninguna limitante comprenden 4.64%.

En la entidad se encuentran tres tipos de regosoles: éutricos, calcáricos y dístricos. Los regosoles éutricos comprenden el 91.78% de los regosoles. Presentan las características mencionadas con anterioridad y, además, saturación de bases de moderada a muy alta, por lo que son suelos con fertilidad de moderad a alta. De estos suelos 93.46% están limitados por fase lítica, 0.57% por fase gravosa y pedregosa, 1.72% por fases salina y/o sódica y solo 4.25% son profundos sin ninguna limitante. Las texturas varían desde arena hasta migajón arcillo-arenoso. Los colores son pardos, a veces con tonos amarillentos o grisáceos, o con color gris o amarillo. La variación en el pH va de moderada a ligeramente ácido. Los contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial en general son muy pobres, aunque se llegan a encontrar contenidos extremadamente ricos. La capacidad de intercambio catiónico fluctúa de baja a moderada y la saturación de bases de moderada a muy alta. Las cantidades de sodio intercambiable varían de bajas a muy bajas, las de potasio bajas a muy bajas, las de calcio y de magnesio de muy bajas a moderadas.

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: REGOSOL EUTRICO EN FASE LÍTICA

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Cordillera Costera del Sur

Sistema de topofomas: Sierra alta compleja

Horizonte A1

Profundidad 0-14 cm, color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura de forma migajosa de tamaño muy fino y desarrollo débil. Drenaje interno: moderado.

Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte	A1	C1
Profundidad (cm)	0-14	14-33
Textura:		
% de arcilla	10	8
% de limo	18	16
% de arena	72	76
Clasificación textural	Ma	Ma
Color en húmedo	10YR 4/4	10YR 4/6
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	<2.0	<2.0
pH en agua relación 1:1	6.8	6.7
% de materia orgánica	1.7	0.2
CICT (meq/100 g)	9.0	7.5
Cationes intercambiables:		
Potasio (meq/100 g)	0.23	0.10
Calcio (meq/100 g)	5.0	3.8
Magnesio (meq/100 g)	1.20	0.75
Sodio (meq/100 g)	0.03	0.03
% de saturación de bases	71.8	62.4
% de saturación de sodio	<15	<15
Fósforo (ppm)	36.34	8.46

Horizonte C1

Profundidad: 14-33 cm. Color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Drenaje interno: Moderado

La descripción de una clave edafológica, es como sigue: El primer sumando corresponde al suelo dominante, el segundo y tercer sumando (si son cuatro

sumandos) al suelo secundario y el último que corresponde a un cociente con signo negativo; formado por el numerador, que representa la fase química, que puede ser: S (Salina), N (Sódica) y SN (Salina-Sódica); mientras que el denominador formado por un dígito que representa la clase de textura del suelo dominante (en los 30 centímetros superficiales del suelo) y que puede ser: 1 (gruesa), 2 (media) y 3 (fina); en seguida del dígito van la o las letras que representan las fases físicas del suelo dominante pudiendo ser: L (Lítica), PC (Petrocálcica), Pedregosa (P) o Gravosa (G).

Las unidades de suelo en la zona de estudio, son en orden de importancia: Be + Re + Bc/2. Que indica que el suelo dominante es el Cambisol éutrico de textura gruesa y el secundario compuesto por los suelos Regosol éutrico de textura gruesa y Cambisol crómico de textura media. Así como Re + Be/1L; donde el suelo dominante es el Regosol éutrico de textura gruesa y el secundario un suelo Cambisol éutrico de textura gruesa y fase física, Lítica.

2.7 Registros hidrométricos del Río de La Arena

Cuenca	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
XXIV	Río La Arena 1: Desde su nacimiento hasta la EH Pinotepa Nacional.	244.39	0.00	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	242.17	0.65	241.53	241.53	Disponibilidad
XXV	Río la Arena 2: Desde la EH Pinotepa Nacional hasta su desembocadura en el mar.	131.32	242.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	372.50	0.00	372.50	372.50	Disponibilidad

* Valores en millones de metros cúbicos

Ecuaciones

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex)$$

$$D = Ab - Rxy$$

Simbología

- Cp Volumen medio anual de escurrimiento natural
- Ar Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba
- Uc Volumen anual de extracción de agua superficial
- R Volumen anual de retornos
- Im Volumen anual de importaciones
- Ex Volumen anual de exportaciones
- Ev Evaporación en embalses
- Ab Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo
- Rxy Volumen anual actual comprometido aguas abajo
- D Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica
- EH Estación Hidrológica

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO REPRESENTATIVO DE LA CUENCA **RÍO DE LA ARENA.**

3.1 Ubicación del Parteaguas

El Parteaguas de una cuenca, es la línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca en estudio, de las cuencas vecinas. Para la localización del Parteaguas, se utilizó la Carta Topográfica Santiago Jamiltepec E14D74; después de su localización, se midió la longitud del parteaguas (L_p) resultando ser de 123.7 Kilómetros.

$$L_p = 123.7 \text{ Km}$$

3.2 Área drenada

El área drenada de la cuenca (km), corresponde a la superficie en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas. El procedimiento para medirla consistió en trazar rectángulos, cuadrados y triángulos, obtener sus áreas por separado y sumarlas; obteniéndose:

$$A = 411.35 \text{ km}^2$$

3.3 Parámetro de forma

Es un parámetro identificador, de cómo será la respuesta al escurrimiento a partir de la forma de la cuenca, ya que entre mayor sea el valor del parámetro de forma, mayor será el perímetro por Km^2 de área.

$$P_f = \frac{L_p}{A} \frac{1}{\text{Km}}$$

$$P_f = \frac{123.7 \text{ Km}}{411.35 \text{ Km}^2}$$

$$P_f = 0.3 \frac{1}{\text{Km}}$$

3.4 Coordenadas del centro de gravedad de la cuenca

$$C (9.0 , 13.0)$$

3.5 Longitud de la cuenca (No es la longitud del cauce)

Se obtuvo a partir de trazar un sistema de ejes coordenados, obteniéndose, el siguiente valor:

$$L_c = 33.8 \text{ Km}$$

3.6 Ancho máximo de la cuenca

Se obtuvo a partir de trazar un sistema de ejes coordenados, obteniéndose el siguiente valor:

$$B_m = 24.85 \text{ Km}$$

3.7 Ancho medio de la cuenca

Se obtiene como el cociente de dividir el área drenada de la cuenca (A), entre la longitud de la cuenca (Lc):

$$B_{med} = \frac{A \text{ Km}^2}{L_c \text{ Km}}$$

$$B_{med} = \frac{411.35 \text{ Km}^2}{33.8 \text{ Km}}$$

$$B_{med} = 12.17 \text{ Km}$$

3.8 Coeficiente de asimetría

$$C_{ac} = \frac{A_{izq} - A_{der} \text{ Km}^2}{\frac{A_{izq} + A_{der} \text{ Km}^2}{2}}$$
$$C_{ac} = \frac{307.167 - 104.182 \text{ Km}^2}{\frac{307.167 + 104.182 \text{ Km}^2}{2}}$$
$$C_{ac} = 0.99$$

3.9 Pendiente media de la cuenca

Método de Horton

$$S_x = \frac{N_x (d) \text{ Km}}{L_x \text{ Km}}$$

$$S_x = \frac{116 (0.1) \text{ Km}}{115.8 \text{ Km}}$$

$$S_x = 0.1$$

$$S_y = \frac{N_y (d) \text{ Km}}{L_y \text{ Km}}$$

$$S_y = \frac{133 (0.1) \text{ Km}}{127 \text{ Km}}$$

$$S_y = 0.1$$

$$S_c = \frac{S_x + S_y}{2}$$

$$S_c = \frac{0.1 + 0.1}{2}$$

$$S_c = 0.1$$

3.10 Elevación media de la cuenca. Se obtuvo como el cociente de las elevaciones de las intersecciones, entre el número de las intersecciones.

$$E_c = \frac{14650 \text{ m}}{36} \frac{1}{1}$$

$$E_c = 406.94 \text{ m}$$

3.11 Orden de corriente: 5

3.12 Coeficiente de sinuosidad. Es el cociente entre la longitud del cauce principal (Lcp) considerando las curvas, entre la longitud del cauce considerado como una línea recta. (Lis).

$$K_s = \frac{L_{cp} \text{ Km}}{L_{ls} \text{ Km}}$$

$$K_s = \frac{17.75 \text{ Km}}{15.40 \text{ Km}}$$

$$K_s = 1.15$$

3.13 Densidad de corriente

$$D_c = \frac{N_{TC} \text{ Km}^2}{A \text{ Km}^2}$$

$$D_c = \frac{43 \text{ Km}^2}{411.35 \text{ Km}^2}$$

$$D_c = 0.1$$

3.14 Densidad de drenaje

$$D_d = \frac{L_{TC}}{A} \frac{1}{\text{Km}^2}$$

$$D_d = \frac{500}{2} \frac{1}{\text{Km}^2}$$

$$D_d = 0.2$$

3.15 Pendiente media del cauce principal: $S_c=0.055$

4.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A) Del municipio

De la ubicación del municipio; localizado en una de las regiones mas apartadas del Estado de Oaxaca y del centro de la capital del país, hecho que lo convierte en uno de los tantos municipios históricamente olvidados; de la posición que ocupa como integrante de un Estado que hoy por hoy se ubica en el último o penúltimo lugar del país económicamente hablando, del aumento constante de su población que según el censo de población y vivienda cuenta con 50,309 habitantes y para el año 2030 llegará a 67,545 habitantes (Aplicación del método Logístico o Biológico para determinar la población futura) y de las grandes necesidades en materia de infraestructura, para el abasto de agua, salud, educación, empleo, etc., que le impiden desarrollarse en los diferentes sectores de la economía; se puede desprender que en materia de infraestructura, el aprovechamiento hidráulico de este municipio no es solo necesario sino urgente.

Se cuenta con la información necesaria, localización, vías de comunicación, población etc. Pero sobre todo se cuenta con la existencia de la necesidad origen de un problema: El agua.

Hace cincuenta años que el italiano nacionalizado mexicano Gutierre Tibón visitó esta región; inclusive dedicó el nombre de su libro a este municipio: ***Pinotepa Nacional***; y en una de sus notas escribía:

“Todo cambiará cuando haya comunicaciones. Se educará a los costeños, se harán partícipes de la nueva prosperidad. El alcalde de la ciudad de Chacahua, en el año 2000, será un abogado moreno, descendiente de la pequeña tribu con la cual, hoy a mediodía, comí ñame y pescado.” Estamos en el año 2012 y este municipio, corazón de la Costa Chica de Oaxaca, aún no es partícipe de esa anhelada prosperidad.

B) De la cuenca.

La Planeación, parte fundamental de la Ingeniería y primera etapa en todo proyecto; establece que para cambiar cualquier situación, previamente habrá de conocer tan ampliamente como sea factible la situación actual. No se puede planear nada, si antes no se conoce el estado actual que guarde el problema por resolver, dicho de otra manera: no se puede planear sin poner los “pies en la tierra.”

Regionalización fisiográfica

El punto de partida para ubicar geográficamente cualquier sitio de la República Mexicana, parte necesariamente de localizar la unidad orogénica o la región geomórfica a la que pertenece o ambas.

La región geomórfica a la que pertenece este municipio es la Planicie Costera Sudoccidental y su unidad orogénica es nada menos que la Sierra Madre del Sur. Una subdivisión de la Planicie mencionada, nos remite a la Costa Chica en este caso de Oaxaca. Con esta información el municipio está plenamente identificado.

Topografía. Origen y confiabilidad de las cartas topográficas

Como punto de partida de este trabajo, fue indispensable hacer la regionalización de la Costa Chica de Oaxaca, tanto fisiográfica, como hidrológica; para posteriormente ubicar dentro de ellas las cartas topográficas en las que se localiza la cuenca del Río de La Arena; objeto de estudio del trabajo. Estas cartas son: Santiago Pinotepa Nacional **E14D73** y Santiago Jamiltepec **E14D74**, ambas a escala 1:50,000 y curvas de nivel a cada 20 metros. Para el tipo de trabajo de que se trata, puede considerarse que la escala de las cartas cumple perfectamente con su función y en cuanto a la dependencia que elabora y distribuye estas cartas en este caso el INEGI, no cabe la menor duda de su calidad y confiabilidad.

Es en la carta Santiago Jamiltepec **E14D74** donde se traza el parteaguas de una subcuenca, localizada aguas arriba de la estación hidrométrica Pinotepa Nacional, esto con el propósito de estudiar las características mas importantes de la cuenca principal.

Clima

El clima en la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad. Esta zona tiene una altitud del nivel medio del mar de 400 metros. La temperatura media anual que lo caracteriza va de los 22°C a los 42°C y la precipitación total anual varía entre 700 y 1200 mm. Las altas temperaturas en la zona provocan necesidades de agua por arriba de los niveles normales; hay buena precipitación sin embargo el agua no se aprovecha y escurre al océano.

Geología.

Estratigrafía

Dos son las unidades geológicas que predominan en la región de estudio:

La primera y mas importante es la unidad J(Gn) perteneciente al Mesozoico Jurásico, la cual forma parte de la franja metamórfica denominada Complejo Xolapa, el cual es un cinturón metamórfico de baja presión y alta temperatura, característico de una zona orogénica circunpacífica, originado como expresión orogénica de la subducción de la placa oceánica bajo el borde de la corteza continental Americana. Esta unidad es una de las rocas mas antiguas de la entidad, ocupa en la región la mayor superficie; consta de una asociación de Gneis, esquisto, granulito, granodiorita gneísica y metagranito. El Gneis tiene textura granoblástica, pertenece a las facies de anfibolita de almandino y esquistos verdes, de la clase química cuarzo feldespática; presenta minerales como cuarzo, oligoclasa, andesina, ortoclasa, biotita, moscovita, almandino, circón, turmalina, esfena, clorita, epidota, arcillas, piritita y hematina. La unidad presenta localmente carácter migmatítico, está afectada por diques aplíticos y de composición intermedia y abundantes vetillas de cuarzo, se encuentra con inemperismo profundo y presenta micropliegues. Se presenta como una franja angosta a lo largo del margen pacífico y se expresa como lomeríos y cerros de relieve discreto.

La segunda es la unida T(Igía), correspondiente al Cenozoico Terciario. Es una roca ígnea intrusiva ácida la cual incluye sobre todo granito, pero también se encuentran granodiorita, granito-granodiorita y granodiorita-tonalita.

Actividad sísmica

Durante el Terciario Superior, se presenta actividad tectónica con esfuerzos de tensión que originan fracturas y grandes fallas normales, seguidas por una intensa actividad volcánica asociada a zonas de debilidad.

En la Actualidad, el contacto entre la **Placa de Cocos** (basáltica) y la **Placa de Norteamérica** (continental granítica), forma la gran Trinchera Norteamericana, que constituye la zona de subducción o litósfera que vuelve a ser asimilada por el manto al avanzar la Placa de Cocos debajo de la Placa de Norteamérica, lo cual origina las zonas de perturbación en la corteza terrestre que son responsables de los movimientos sísmicos que se registran en las costas de los Estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán; lo cual según la Regionalización Sísmica de la República Mexicana la clasifica como zona D; es decir es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la acumulación de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

La máxima intensidad de que se tiene registro hasta la fecha es de 8.0 grados según el sismo del 7 de junio de 1928.

Hidrología superficial

La República Mexicana se divide en 37 Regiones Hidrológicas; la Región a la que pertenece el Río de La Arena es la RH-20: Costa Chica-Río Verde.

Esta región consta de 3 cuencas: Río Atoyac (A), Río de La Arena y otros (B) y Río Ometepec o Grande (C).

La Cuenca Río de La Arena y Otros, se encuentra en el Distrito de Jamiltepec, mide 1358 km² (2.34% del territorio del Estado) y en su mayor longitud la corriente principal tiene un desarrollo de 75 km.

Los registros de precipitación varían entre 1200 y 2000 mm que en promedio equivalen a un volumen medio anual de 3,400 Mm³, de los cuales 768.5 Mm³ escurren hacia el mar, es decir el 22.6% de la precipitación.

Edafología

Unidades de suelos en la zona de estudio.

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: CAMBISOL ÉUTRICO

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Costas del Sur

Sistema de topofomas: Llanura costera con lomeríos

Horizonte A1

Profundidad 0-23 cm. Color pardo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte B1

Profundidad 23-34 cm. Color pardo-pardo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado.

Horizonte B2

Profundidad 34-78 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Cámbico.

Horizonte C1

Profundidad 78-100 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de arena. Drenaje interno : rápido

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: CAMBISOL CRÓMICO

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Costas del Sur

Sistemas de topofomas: Lomerío con cañadas

Horizonte A1

Profundidad 0-14 cm. Color pardo grisáceo oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques subangulares de tamaño medio y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte B1

Profundidad 14-27 cm. Color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arcillo-arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado.

Horizonte B21

Profundidad 27-52 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arcillo-arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Cámbico.

Horizonte B22

Profundidad 52-100 cm. Color pardo fuerte en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura en forma de bloques angulares de tamaño grueso y desarrollo moderado. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Cámbico.

PERFIL REPRESENTATIVO PARA: REGOSOL EUTRICO EN FASE LÍTICA

Ubicación fisiográfica:

Provincia: Sierra Madre del Sur

Subprovincia: Cordillera Costera del Sur

Sistema de topofomas: Sierra alta compleja

Horizonte A1

Profundidad 0-14 cm, color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Estructura de forma migajosa de tamaño muy fino y desarrollo débil. Drenaje interno: moderado. Denominación del horizonte: Ócrico.

Horizonte C1

Profundidad: 14-33 cm. Color pardo amarillento oscuro en húmedo. Reacción nula al HCl diluido. Textura de migajón arenoso. Drenaje interno: moderado

La descripción de una clave edafológica, es como sigue: El primer sumando corresponde al suelo dominante, el segundo y tercer sumando (si son cuatro sumandos) al suelo secundario y el último que corresponde a un cociente con signo negativo; formado por el numerador, que representa la fase química, que puede ser: S (Salina), N (Sódica) y SN (Salina-Sódica); mientras que el denominador formado por un dígito que representa la clase de textura del suelo dominante (en los 30 centímetros superficiales del suelo) y que puede ser: 1 (gruesa), 2 (media) y 3 (fina); en seguida del dígito van la o las letras que representan las fases físicas del suelo dominante pudiendo ser: L (Lítica), PC (Petrocálcica), Pedregosa (P) o Gravosa (G).

Las unidades de suelo en la zona de estudio, son en orden de importancia: Be + Re + Bc/2. Que indica que el suelo dominante es el Cambisol éutrico de textura gruesa

y el secundario compuesto por los suelos Regosol éutrico de textura gruesa y Cambisol crómico de textura media. Así como Re + Be/1L; donde el suelo

dominante es el Regosol éutrico de textura gruesa y el secundario un suelo Cambisol éutrico de textura gruesa y fase física, Lítica.

Registros hidrométricos del Río de La Arena

La cuenca hidrológica Río de La Arena con una superficie de 850.27 km², que va desde el nacimiento del río hasta el sitio donde se ubica la estación hidrométrica Pinotepa Nacional, tiene un volumen medio anual de escurrimiento disponible de 241.53 millones de metros cúbicos, esto es ya descontados los volúmenes por extracción de agua superficial, la evaporación en embalses y el volumen anual de exportaciones; es decir cuenta con un gasto disponible de 7.66 m³/s.

5.- CONCLUSIONES

5.1 Usos probables de aprovechamientos.

El tamaño de la cuenca se clasifica de acuerdo con el área que encierra el parteaguas; en este caso se trata de una cuenca de 850.27 km² que se ubica en el rango de 500-2500 km²; por lo que se trata de una cuenca **Intermedia Grande**.

El volumen de escurrimiento medio anual del Río de La Arena hasta la estación hidrométrica Pinotepa Nacionales de 241.53 millones de metros cúbicos, lo que representa un gasto disponible de 7.66 m³/s.

El municipio de Santiago Pinotepa Nacional; lugar donde se ubica el Río de La Arena, objeto de este estudio, se encuentra localizado en una zona eminentemente sísmica, con intensidades registradas de hasta 8.0 grados. Los tipos de estructuras que mejor se adaptan a resistir las sacudidas de los terremotos sin perjudicarse, son las presas de tierra y las de concreto del tipo gravedad. Siempre tomando en cuenta el criterio del United State of Reclamations (USBR), que aconseja que como los terremotos comunican aceleraciones a las presas que pueden aumentar las presiones del agua y del limo sobre ellas, y los esfuerzos dentro de las mismas. Debe dejarse algún margen para las cargas producidas por los terremotos en este tipo de proyectos.

Las dos primeras consideraciones por lo que se refiere al tamaño de la cuenca y al volumen de escurrimiento del río, así como del hecho de que aún cuando la región sea una zona sísmica, no es motivo suficiente para descartar la planeación de una obra hidráulica dado que existen estructuras que son capaces de resistir las sacudidas de los terremotos sin perjudicarse; son fundamento para sustentar la hipótesis planteada al inicio de este trabajo, de que si es viable la planeación de un aprovechamiento hidráulico en el Río de La Arena; así mismo desde el punto de vista económico, en la actualidad se estima como criterio sano y conveniente el de considerar en cada caso la posibilidad de que los proyectos se orienten a satisfacer dos o más finalidades simultáneamente. Por tal motivo los aprovechamientos que son probables son:

a) Abastecimiento de agua. Para el año 2030 la población del municipio será de 67,545 habitantes; considerando un abasto de 200 litros por habitante por día y por año, el volumen requerido será de 4.93 millones de metros cúbicos; lo que representa un gasto de 0.156 m³/s inferior al gasto disponible del río que es de 7.66 m³/s, con lo cual se garantiza el abasto de agua por los próximos 20 años para este municipio.

b) Generación de energía eléctrica. Cada vez es más urgente la generación de energía aprovechando las llamadas energías renovables; y la que siempre resulta más adecuada es la energía hidráulica. En el país existe potencial para instalar más de 3,000 MW utilizando plantas pequeñas donde se puedan programar las horas de generación según los usos y las disponibilidades en los denominados **Desarrollos medianos** para pequeñas comunidades. Así como el sustento de dar al aprovechamiento la finalidad de abastecimiento de agua para uso doméstico, es su población actual y el crecimiento futuro de ésta; para considerar a la generación de energía una finalidad alterna, el sustento es primero la necesidad del municipio de aspirar a un desarrollo social y económico; y segundo que existan los elementos mínimos indispensables para la generación, como son la potencia media, la potencia instalada, así como el factor de planta entre otros. Un análisis preliminar es el siguiente:

Para un gasto (Q) de 7.66 m³/s, una eficiencia de conjunto (η) de 0.83, se tiene una potencia media por metro de desnivel de:

$$P = 9.81\eta Q H$$

$$P = (8.2)(7.66)(1)$$

$$P = 62.37 \text{ kW/ metro de desnivel}$$

Así considerando un factor de planta (Fp) de 0.5; se tendría una potencia instalada de:

$$P_i = P / F_p$$

$$P_i = 62.37 / 0.5$$

$$P_i = 124.74 \text{ kW/metro de desnivel}$$

Habiendo estimado previamente un desnivel de aproximadamente de 60 metros, y considerando las horas de un año, puede inclusive estimarse la generación (G) anual como sigue:

$$G = 62,37(60)(8760) = 32,781,672 \text{ kWh/año}$$

Esto significa que la generación anual sería de hasta 33 millones de kWh por año. Por lo que preliminarmente se puede presumir, que técnicamente si es posible la generación de energía eléctrica; la capacidad se irá definiendo con los estudios que preceden a este trabajo.

c) Recreación. Con la mínima infraestructura se puede dar lugar a un tercer aprovechamiento, que además de propiciar recreo, generaría empleo.

5.2 Recomendaciones de estudios de campo a nivel de anteproyecto.

La siguiente etapa por lo que se refiere a los estudios de campo, se pueden clasificar en dos vertientes: datos del vaso y datos para la presa.

I. Datos del vaso

A) Plano del vaso:

1. Topografía.
2. Alineamientos de control horizontal y vertical, de preferencia una triangulación.
3. Un sistema de coordenadas
4. Clasificación por cultivos de los terrenos del vaso, propietarios, y posición legal en conexión con la adquisición de derechos de vía, concesiones, etc.
5. Linderos de las propiedades y nombres de los propietarios

B) Levantamiento de los caminos y otros servicios públicos.

1. Cambios de localización y reconstrucción de carreteras.
2. Cambios de localización y reconstrucción de servicios públicos.
3. Informe preliminar de la inspección hecha en unión de los funcionarios municipales o propietarios de servicios públicos, con los costos aproximados de los cambios de localización, incluyendo los trazos para la localización e indicando quien ejecutará la construcción.

C) Datos varios:

1. Estimación de la vida probable del vaso; es decir, considerando las pérdidas de capacidades debidas a los azolves.
2. Levantamientos para la clasificación de los terrenos, incluyendo tabulaciones de las áreas y los costos de compra estimados y concesiones; discusión de la necesidad de hacer levantamientos para avalúos y discusión de la posibilidad de obtener concesiones para la inundación de terrenos durante las avenidas máximas poco frecuentes.
3. Tabulación de las áreas que van a desmontarse, con su costo estimado.
4. Descripción de edificios, cercados, y construcciones agrícolas que deban quitarse o utilizarse, con estimaciones de costo.
5. Descripción de los terrenos adyacentes al vaso propuesto para uso público, esparcimiento u otros fines.
6. Limitaciones económicas o físicas en la línea de gasto máximo del vaso
7. Discusión de las limitaciones a las fluctuaciones del nivel del vaso.

II. Datos para la presa

A) Plano del emplazamiento de la presa:

1. Topografía del emplazamiento de la presa y de las zonas de la cortina.
2. Controles verticales y horizontales, de preferencia por algún sistema de triangulación.
3. Cuadrícula para coordenadas.
4. Localización de los afloramientos de roca y detalles geológicos aparentes.
5. Localización de mejoras hechas por el hombre en el emplazamiento.
6. Localización de los sondeos, pozos de prueba, y de otras exploraciones para la cimentación.

B) Exploraciones para la cimentación:

1. Hacer suficientes sondeos, con la posteadora y/o pozos de prueba para determinar el carácter y la profundidad del material de despalme para determinar la viabilidad y las especificaciones del proyecto.
2. Descripción y registros de exploración, incluyendo elevaciones del terreno en los sondeos, coordenadas de su localización, y suficientes notas detalladas para interpretar con claridad los registros.
3. Muestras.
4. Suficientes exploraciones para determinar el carácter de la roca o de los estratos impermeables de la cimentación por lo que toca a viabilidad y especificaciones para el proyecto.

C) Exploraciones para localizar materiales:

1. Localización y descripción de las características del material que se propone usar en la construcción de la cortina, incluyendo tierra, arena-grava para agregados y para el terraplén, y roca para terraplenes y para enrocamiento.
2. Levantamiento de los bancos de préstamo, mostrando la localización de los sondeos hechos para determinar la viabilidad y las especificaciones de proyecto.
3. Registros de las exploraciones.
4. Muestras representativas de los materiales que contienen los bancos de préstamo.

D) Datos sobre el agua de descarga:

1. Curvas de aforos de las corrientes, si se pueden obtener.
2. Secciones transversales de las corrientes, con elevaciones y fechas arriba y debajo de la cortina.
3. Curvas de descarga y de remanso para las marcas de las avenidas especificadas.

E) Condiciones locales que controlan el proyecto de la presa:

1. Caminos necesarios.
2. Escaleras para peces necesarias, o medidas para conservarlas.
3. Necesidades de reposición o cambios en las obras existentes.
4. Necesidades de edificios permanentes o de campamentos para los operadores.
5. Efectos de las condiciones locales con respecto a las compuertas del vertedor de demasías y de las obras de toma, especialmente las condiciones en invierno, etc.
6. Disponibilidad de energía eléctrica para la operación del equipo mecánico.
7. Capacidad y elevaciones de las obras de toma necesarias según las determinan las condiciones locales.

F) Condiciones locales que afectan la construcción:

1. Servicios adicionales de transporte requeridos para la construcción, incluyendo caminos de acceso, etc.
2. Trazo de ferrocarriles, carreteras o aeropuertos.
3. Mejoras necesarias en los servicios de transporte existentes.
4. Costo estimado de la adquisición de datos suficientes para estimar el costo de los servicios de transporte.
5. Distancia de acarreo de la estación de ferrocarriles mas cercana y tarifas de acarreos locales.
6. Disponibilidad de energía eléctrica para la construcción.
7. Requisitos para el campamento de construcción, estimado el número de empleados y campamentos necesarios para los empleados para la supervisión y construcción; servicios de abastecimiento de agua y sanitarios; leyes locales respecto a la salubridad, contaminación de las corrientes, etc.

Estudio de riesgo sísmico para el emplazamiento. Los emplazamientos para presas, requieren unas condiciones de estabilidad geológica, sísmica o geotécnica adecuadas, por lo que es necesario efectuar la siguiente secuencia de estudios en relación con el riesgo sísmico.

- 1.- **Peligrosidad sísmica** regional de acuerdo con los criterios establecidos por la normatividad existente, obteniéndose los parámetros sísmicos de terremotos correspondientes a un periodo de retorno, que en el caso de una presa es de 100-150 años.
- 2.- **Terremoto de diseño** para la estructura y la seguridad exigida al emplazamiento.

- 3.- **Efectos inducidos** por el terremoto en función de las condiciones geológicas y geotécnicas en el emplazamiento. Los principales riesgos a considerar son:
- Licuefacción
 - Deslizamientos
 - Callamiento superficial
 - Tsunamis
- 4.- **Respuesta sísmica local** teniendo en cuenta las propiedades del uso del suelo, topografía y efectos inducidos, amplificación de suelos y espectro de respuesta.
- 5.- **Evaluación de emplazamiento.** La presencia de procesos o riesgo (licuefacción, roturas superficiales por fallas, deslizamientos, etc.), se considera, en principio, **factor de exclusión** para el apoyo o cimentación de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

-Fundamentos de Hidrología de Superficie

Aparicio M. F. J.

Editorial Limusa, México, 1990

_Hidrología Superficial

Springal G. R.

Editorial Limusa, México, 1990

- Diseño de presas pequeñas

U. S. B. R.

Compañía Editorial Continental, S. A., 1966

- Ingeniería Geológica

Luis I. González Vallejo

Pearson Educación S. A. de C. V., Madrid España

-Fundamentos de Ingeniería Sísmica

E. Rosenblueth

N. M. Newmark

Editorial Diana, México, 1976

-Metodología de la Planeación Normativa

Arturo Fuentes Zenón

Gabriel Sánchez Guerrero

Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., México, 1988

-Planeación Estratégica de la Infraestructura en México 2010-2035

Universidad Nacional Autónoma de México

Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C.

Instituto Politécnico Nacional

Universidad Tecnológica del Valle de Chalco, A. C.

Director General del Proyecto: Ing. Carlos Martín del Castillo

México, 2009

-El ingeniero civil ¿Qué hace?

Héctor Bolívar V.

Ernesto Zurutuza V.

Jesús González Denetro

Jesús Banda L.

C. F. E., Alambra Mexicana, 1982

-Pinotepa Nacional

Gutierre Tibón

U. N. A. M., 1961

- Cuijla

Gonzalo Aguirre Beltrán

Fondo de Cultura Económica, México, 1ª edición 1958

- La forja de un pueblo

Alejandro Francisco Carmona Sánchez

CONACULTA, México, 2010