

Diseño y cálculo de sistema de riego por aspersión para una plantación de diez hectáreas de café en El Zamorano

Trabajo presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

presentado por

Adolfo Alejandro del Cid Hurtarte

Zamorano-Honduras
Mayo, 2000

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas y jurídicas se reservan los derechos de autor.

Adolfo Alejandro del Cid Hurtarte

Zamorano-Honduras
Mayo, 2000

**Diseño y cálculo de sistema de riego por aspersión para una plantación
de diez hectáreas de café en El Zamorano.**

Presentado por:

Adolfo Alejandro del Cid Hurtarte

Aprobada:

Pablo Quintana.
Asesor Principal

Jorge Restrepo M.B.A.
Coordinador de la Carrera de
Ciencia y Producción
Agropecuaria

Odilo Duarte, Ph.D.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano

Francisco Alvarez, Ing. Agr.
Asesor

Keith Andres, Ph.D.
Director General

Odilo Duarte, Ph.D.
Coordinador PIA

DEDICATORIA

Primero agradezco Dios todo poderoso por nunca abandonarme e iluminarme en los momentos mas dificiles de mi vida, por siempre ser mi mejor consuelo para cualquier dificultad y alegría que se me presenta, sinceramente gracias Diosito.

A mis padres por ser los dos pilares más fuertes que me han forjado y por quienes hoy en día soy lo que soy. De verdad los amo papá y mamá, creo que nunca podré pagarles el inmenso cariño y confianza que han depositado en mi durante toda mí vida sin ninguna condición o reclamo, son lo mejor que alguien podía pedir como padres.

Mis hermanos Juanjo e Iny, por aguantarme durante toda su vida, de verdad les agradezco toda su paciencia y comprensión, que más podía pedir con dos hermanos como ustedes.

A mis abuelitas Chelo y Syra, por siempre darme sus buenos consejos, por estar siempre pendientes de cualquier cosa que me pase y por nunca negarme nada, pero sobre todas las cosas por su inmenso cariño. Las amo increíblemente a ambas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por siempre estar presentes en cada etapa de mi vida y por procurar de que nunca me falte nada. A mis hermanos y abuelitas, por quererme de la manera tan especial como lo hacen.

A Don Pablo Quintana ya que sin su inmensa ayuda y generosidad este proyecto no hubiera podido realizarse.

A mi mujer, Juan Roberto Barillas por aguantarme durante cuatro años de mi vida en el Zamorano y por siempre ayudarme a salir adelante y por no solo ser un amigo sino también un hermano.

A mis otros hermanos Juan Luis Gómez (Torta) y Miguel Alvarado (Enano), por ser los mejores amigos que pudiera haber pedido en este mundo, nunca creí que encontraría a tan buenos amigos como ustedes dos sinceramente mucha son de lo mejor que puede haber.

A Berta (chiwiña), por su gran amistad que me mostró en estos últimos meses, gracias por permitirme conocerte y darme cuenta de la increíble persona que sos, por fa nunca cambies y recorda que solo te mereces lo mejor.

Al grupo los Kaibiles (Edgar Velásquez, Marvin Romero, Ennio Suchini, José Marcucci, Mario Ruiz) por estar en los mejores y peores momentos de mi vida zamorana.

Le agradezco a Ana por demostrarme que sos una persona súper correcta y centrada. Sos la persona que muchos desearían tener como amiga, muchas gracias.

RESUMEN

del Cid, Adolfo. 2000. Diseño y cálculo de un sistema de riego por aspersión para una plantación de diez hectáreas de café en Zamorano, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras.

El negocio cafetero de exportación de los pequeños productores se ha visto afectado por bajos precios en los últimos años, debido a una gran producción por Brasil y Colombia, los que dominan la mayor parte del mercado, Brasil en volumen y Colombia en calidad. Pero en gran parte se ha visto afectado por bajos rendimientos obtenidos por la mayor parte de productores que trabajan con una tecnología pobre o primitiva. En Centro América, el café juega un papel importantísimo en la economía de los países, por su alta generación de divisas y por ser fuente de empleo para miles de personas, por lo que no se puede olvidar su importancia. Para mostrar las prácticas más importantes que en el cultivo deben realizarse, nació la idea de establecer una plantación de diez hectáreas en El Zamorano, dándole a esta plantación las mejores condiciones posibles para lograr una alta productividad. Para esto se diseñó un sistema de riego por aspersión, para satisfacer los requerimientos de agua indispensables para su cultivo. El diseño del riego se realizó para las fincas de Santa Inés y Zavala, propiedad de Zamorano. Tomando en consideración los espaciamientos de siembra del café de 2×1 m; el sistema trabajará con aspersores del tipo 3023-2 de marca Senninger®, con una descarga de 5.39 galones/minuto a 40 psi, el espaciamiento es de 14 m entre aspersores y 15 m entre hileras, los aspersores estarán colocados a una altura de 2.10 m. El sistema se diseñó para lograr regar toda la plantación con seis grupos de riego y así cumplir toda una rotación en la plantación y satisfacer los requerimientos de agua del cultivo. El diseño tendrá un costo total de \$ 22,267, este costo es ya instalado y trabajando, lo que se traduce a \$ 2,226.7 por hectárea. El sistema operará aprovechando el gradiente hidráulico de un acueducto existente, en consecuencia no tendrá costo de energía para bombeo.

Palabras claves: *Coffea arabica*, divisas, psi, rendimientos, requerimientos.

Dr. Abelino Pitty.

NOTA DE PRENSA

¿QUIERE MEJORAR SUS RENDIMIENTOS DE CAFÉ, ESTABLECIENDO PLANTACIONES BAJO METODOS MODERNOS DE RIEGO?

Zamorano establecerá una plantación de 10 hectáreas de café. Con la finalidad de proporcionar y satisfacer las condiciones optimas para con sus requerimientos hídricos durante todo el año, se implementará un sistema de riego por aspersión.

Para el diseño del sistema de riego, se recurrió a datos meteorológicos de precipitación; análisis de suelo, para cumplir con las condiciones bioclimaticas del lugar. Para facilitar el diseño del sistema de riego se definieron los limites y áreas de siembra trazando los bloques y las calles que los dividirían. Media vez definido el terreno se determino el tipo de aspersores a utilizar por medio del programa SIPP, estos son los 3023-2 de la firma Senninger con capacidad de descargar 5.39 galones por minuto.

El sistema cuenta con una tubería principal, que da salida a dos tuberías secundarias de menor diámetro que dividen los lotes por mitad y de las que salen las tuberías laterales que llevan instalados los aspersores a una distancia de 15m de largo entre si y 14m entre laterales.

Se pretende que con la implementación de este sistema de riego y la realización de todas las prácticas del cultivo, se logren incrementar los rendimientos de manera significativa, superando los rendimientos promedio de nuestras regiones, a fin de compensar la inversión inicial.

Lic. Sobeyda Alvarez

INDICE GENERAL

	Pág.
Portada.....	i
Derechos de autor.....	ii
Aprobación.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Nota de Prensa.....	vii
Índice General.....	viii
Índice de Cuadros.....	x
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivo	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 CICLO FENOLOGICO DE LA PLANTA DE CAFE.....	3
2.1.1 Ciclo vegetativo.....	3
2.1.2 Ciclo reproductivo.....	4
2.1.3 Implicaciones practicas del ciclo fonológico.....	5
2.2 FERTIRRIGACION.....	5
2.3 IRRIGACION.....	5
2.3.1 Balance hídrico de la planta.....	7
2.3.2 Beneficios del riego para un máximo desarrollo de raíces.....	7
2.3.3 Es necesario un periodo de stress durante el ciclo de la planta de café.....	8
2.3.4 Profundidad y frecuencia de riegos.....	8
2.3.5 Ventajas y desventajas del riego por aspersión.....	9
2.4 CALENDARIZACION.....	9
2.5 TRAZADO Y PLANTACIÓN DEL CAFETAL.....	9
2.5.1 Preparación del terreno.....	9
2.5.2 Marcación del terreno.....	10
2.5.3 Confección del hoyo.....	10
2.5.4 Fertilización.....	10
2.5.5 Plantacion de sombra.....	10
2.5.6 Plantación de cortaviento.....	10
2.5.7 Control de malezas plagas.....	11

3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Ubicación del proyecto.....	12
3.2 Clima de la zona.....	12
3.3 Definición del diseño de riego.....	13
3.4 Análisis del suelo.....	13
3.5 División del área y tipo de riego.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1. PARAMETROS DE DISEÑO.....	15
4.1.1. Riego por aspersión.....	15
4.1.2. Memoria de calculo hidraulico.....	15
4.2. RESULTADO DE CALCULO DE DISEÑO.....	16
4.2.1. Calculo de aspersores.....	16
4.2.2. Resultado del calculo de laterales.....	17
4.2.3. Resultado del calculo de tuberías múltiples.....	18
4.2.4. Resultado del calculo de tuberías sub principal y principal.....	23
4.3. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO.....	24
4.3.1. Tubería de PVC.....	24
4.3.2. Tes SCH40.....	24
4.3.3. Codos 90°.....	24
4.3.4. Reductores.....	24
4.3.5. Adaptadores macho.....	25
4.3.6. Adaptadores hembra.....	25
4.3.7. Bridas.....	25
4.3.8. Tuercas y tornillos.....	25
4.3.9. Válvula de bronce de disco tipo cuña sólida.....	25
4.3.10. Empaques de hule rojo.....	25
4.3.11. Aspersores y válvula.....	25
5. CONCLUSIONES	26
6. RECOMENDACIONES	27
7. BIBLIOGRAFIA	28

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Áreas existentes con riego y áreas con potencial de riego en Brasil, en miles de hectáreas.....	6
2. Datos climatológicos de la estación metereológica de El Zamorano para el periodo de junio 1999 – febrero 2000.....	12
3. Análisis de suelo.....	13

INDICE DE ANEXOS

Anexos	Pág.
1. Mapa Topográfico, del Proyecto de café, Santa Inés-Zavala. Bajo sistema de riego sobre el follaje.....	30
Precipitación mensual 1942-1999. Estación metereológica de El Zamorano....	31

INTRODUCCION

Para que ocurran las diferentes fases y etapas de la vida en especies vegetales, es necesaria la acción de los factores ambientales (temperatura, radiación y humedad), y cada uno de ellos marca la ocurrencia de las fases del ciclo biológico (ANCAFE, 1998).

La planta de café tendrá diferentes reacciones particulares ante los elementos bioclimáticos, debido a su constitución genética, fisiológica, biológica, etc. Uno de los elementos más limitantes es la precipitación pluvial, que tiene una acción bastante marcada en la producción, por la influencia que ejerce en la floración, maduración y fructificación, así como en el crecimiento de la parte vegetativa.

En términos generales se puede decir que el café se adapta a un amplio rango de cantidades de precipitación pluvial. Según ANACAFE (1998) esto es sustentado en el hecho que se planta en regiones de escasas precipitaciones; zona tropical seca, como también en regiones de precipitaciones intensas: zona tropical, subtropical y montano bajo húmeda.

La planta de café se puede considerar como de cierta tolerancia a la sequía, aunque la cosecha se puede ver reducida significativamente cuando el suministro es inadecuado. Debido a la carencia de agua, se merma el crecimiento vegetativo y el hecho de que el café usualmente produce flores y frutos sólo en la madera formada por el crecimiento de ramas laterales durante el año anterior, permite que la disminución de la cosecha por una deficiencia de agua, muy rara vez se observe en el mismo año en que ha ocurrido esa carencia, sino más bien se presenta en la cosecha siguiente (ANACAFE, 1999). En años de precipitación limitada, la planta forma menos nudos productivos para la cosecha del año siguiente.

Cabe mencionar que en diferentes estudios realizados en Colombia, Costa Rica, El Salvador y Guatemala, se relacionan los mayores periodos de crecimiento de la planta con las épocas de lluvia, pero cuando estas sobrepasan los 3,000mm causan efectos negativos para la producción del cafeto (ANACAFE, 1998).

Las yemas laterales empiezan a hincharse luego de una lluvia de pocos milímetros y ocho días después de ésta se abren las flores. Según ANACAFE (1998) se ha postulado que es la caída de la temperatura, usualmente relacionada con las lluvias en el trópico, la que podría estimular la apertura de las flores. Se ha comprobado que cuando la temperatura es demasiado alta, las yemas se desarrollan a un ritmo acelerado. Se puede decir que la floración en el café ocurre después de un período seco y que las flores se abren después de las primeras lluvias.

Con las primeras lluvias se da inicio a la floración y esta marca el principio del periodo vegetativo y según los cafetaleros, pueden distinguirse tres floraciones. Las épocas de estas floraciones varían un poco con la zona: en término medio, la primera ocurre a fines de marzo, la segunda a mediados de abril o a principios de mayo y siguen desarrollándose en los meses sucesivos pues bien, para que los frutos se cuajen, es necesario que las aguas empiecen a caer a principios de la floración, de lo contrario las primeras flores caen, sin haber sido fecundadas. Desde el momento en que se han formado los frutos, es preciso que las dotaciones de agua vayan aumentando gradualmente, hasta que llegan a su completo desarrollo.

Los frutos que llegan a su completo desarrollo maduran, y esta maduración debe coincidir con el fin del período de la lluvia, es decir que en Centro América por lo general, empiezan a madurar a principios de noviembre aunque también esto dependerá mucho de la altura del lugar.

1.1. Objetivo:

- Diseñar un sistema de riego por aspersión para una plantación de diez hectáreas de café, para cumplir con los requerimientos hídricos del cultivo.

2. REVISION DE LITERATURA

Se ha notado que en los últimos años, una fuerte disminución en la producción cafetera centroamericana. Esto debido probablemente, a problemas económicos principalmente y de malos precios, acompañado de problemas de mano de obra, altos costos de producción y muy baja productividad.

2.1. Ciclo fenológico de la planta de café:

Según Pesler (2000), el ciclo de carbohidratos incluye la formación del almidón en el tronco del árbol. La concentración de almidón está altamente relacionada con la producción que se obtendrá mas tarde en el mismo año.

Si el agotamiento de carbohidratos durante el crecimiento del fruto es demasiado rápido y severo o no existen reservas suficientes disponibles, el crecimiento vegetativo será limitado y se manifestara en:

- Decrecimiento en el tamaño del fruto y hojas de menor tamaño
- Muerte regresiva que se dará en casos extremos, caracterizada por ennegrecimiento las ramas nuevas de la punta hacia abajo
- Un cultivo cargado de frutos y con condiciones débiles de la planta con altos índices de defoliación resulta en un agotamiento del almidón, que causará una muerte regresiva (ANACAFE, 1998).

En casos de café bajo sombra, evaluaciones en el estado de Sao Paulo, Brasil, demostraron que en esas condiciones de clima, la transpiración conjunta del café y el guamo (*Inga sp.*) excede a la precipitación durante seis meses del año, lo que impide el éxito de la siembra de café a la sombra en estas áreas. El promedio de transpiración diurna del cafeto fue de 1056 mg/dm²/hora y para el guamo 2202 (un poco mas del doble que la del cafeto). Se encontró que la retención de humedad de estos suelos era menor que la de los suelos en América Central, y por lo tanto en los cafetales de Sao Paulo la evapotranspiración es mayor y llegan mas rápidamente al punto de marchitamiento. Esta condición no ocurre en América Central, donde la mayoría de las plantaciones crecen bajo sombra y la estación seca no es tan prolongada como en Sao Paulo. (Aristizabal, 1998).

2.1.1. Ciclo vegetativo:

Este incluye el crecimiento de brotes, raíces y excluye la floración y desarrollo de frutos. La respuesta vegetativa de la planta de café esta determinada genéticamente, y difiere en intensidad de un área a otra. El rápido desarrollo de las raíces empieza a comienzos de la primavera justo cuando las condiciones se tornan más favorables (Pesler, 2000).

El pico del ciclo vegetativo es en el tope de la estación lluviosa, y hay una pequeña disminución en crecimiento durante la época mas caliente del año, con una aceleración en crecimiento cuando se aproximan de nuevo los meses de mayor frío (Pesler, 2000).

El crecimiento de raíces no ha sido estudiado con detalle, pero se asume por trabajos realizados en Centro América, que el crecimiento se puede dar durante cualquier época del año, con una pequeña declinación si se presentan periodos de un frío seco (Pesler, 2000).

2.1.2. Ciclo reproductivo:

Este ciclo incluye el desarrollo de las yemas florales, floración, cuajado y crecimiento del fruto. El rendimiento de frutos está determinado por el número de nudos florales que se desarrollaron en los meses previos de crecimiento vegetativo (ANACAFE, 1999).

La eficiencia en reproducción esta grandemente ligada con la eficiencia de intercepción de luz. La literatura tiene mucha información con respecto al desarrollo de flores y frutos, pero lastimosamente no esta ligada con el ciclo vegetativo y procesos fisiológicos de la planta.

La iniciación de la yema floral y la diferenciación tienen lugar en el periodo de descanso de la planta el otoño por así decirlo, lo que ocurre es que las yemas entran en una fase de descanso durante el periodo de sequía y vuelven a su actividad al iniciarse las primeras lluvias (ANACAFE, 1999).

Condiciones climáticas desfavorables para la floración al final de la época de altas temperaturas harán que en vez de yemas florales haya crecimiento vegetativo, mientras que bajo condiciones favorables se desarrollaran los racimos florales y habrá una floración abundante justo después de unas buenas lluvias. Los frutos comienzan a desarrollar 6 semanas después de la floración y se desarrollan por un periodo de 10 semanas. Condiciones climáticas favorables y buen suplemento de agua son cruciales durante estas 16 semanas. El cuajado de fruto toma lugar justo después de la floración. La fruta puede permanecer en una fase de descanso por tres meses, si la humedad del suelo no es la suficiente (ANACAFE, 1999).

Bajo condiciones favorables, el desarrollo de la cereza será rápido hasta la mitad de su ciclo de desarrollo que es, cuando alcanza su tamaño final. Solo después de que el máximo tamaño de fruto ha sido alcanzado, se iniciara el desarrollo de la parte interna, y tomara lugar la fase del llenado del fruto, y la madurez empezara hasta el final del periodo de desarrollo del fruto (ANACAFE, 1999).

2.1.3. Implicaciones practicas del ciclo fenológico de crecimiento:

- Aunque no las todas preguntas han sido respondidas con respecto al ciclo fenológico de crecimiento en la planta de café, por lo menos ahora es posible tener una mejor idea y entendimiento de lo que ocurre en la planta (Pesler, 2000).
- El ciclo indica la importancia de cuando incrementar o reducir la cantidad de agua y nutrientes a ser aplicados (Pesler, 2000).
- También, muestran como manipular y controlar la fase vegetativa y productiva en cierto grado, mediante la satisfacción de sus requerimientos máximos durante la fase de formación de carbohidratos (Pesler, 2000).
- El ciclo también puede ser usado para determinar el mejor tiempo para podar y manipular la planta con la aplicación de reguladores (Pesler, 2000).
- El conocimiento de este ciclo de crecimiento es esencial para el manejo de un huerto para alcanzar las mejores cosechas con mayor calidad (Pesler, 2000).

2.2. Fertirrigación

La clave del éxito en fertirrigación de café depende en la exactitud de los registros de análisis de hojas y suelo, de año a año. Correlacionando esto con los registros de producción, grado y calidad obtenida, los que darán una especial dirección a las recomendaciones y guiarán a producir un máximo rendimiento y la mejor calidad para cada situación específica (Pesler, 2000).

Se debe tener en mente que los diferentes elementos nutricionales están interactuando uno con otro, y que una alta concentración de algún elemento resultará en la deficiencia de otro. Esto afectará el desarrollo normal de la planta y su patrón de tamaño (Pesler, 2000).

2.3. Irrigación

En algunas áreas, una buena distribución de lluvias de 1200 mm/año, es considerada esencial para la producción de café comercial. El máximo de agua requerido para 1666 plantas/ha es de aproximadamente $50\text{m}^3/\text{ha}/\text{dia} = 5\text{mm}/\text{dia} = 30\text{lbs}/\text{dia}/\text{planta}$ ($25\text{m}^3/\text{ha}/\text{dia} = 2.5\text{mm}/\text{día} = 15\text{ lbs}/\text{día}/\text{planta}$), o 15lbs/dia/planta en invierno. Es esencial mantener una optima disponibilidad de agua en el suelo durante toda el ciclo (Pesler, 2000).

Como sea, algunos productores prefieren aplicar un periodo de estrés para inducir una mayor floración. Se ha encontrado que regar durante la parte temprana del periodo de sequía promueve un intenso crecimiento vegetativo. Esto asegura que hayan gran cantidad de nudos en las nuevas ramas que soportarán la cosecha del año siguiente (ANACAFE, 1998).

Factores como el espaciamiento, condiciones climáticas y los suelos afectarán el uso del agua. Hacia el final de la época de crecimiento del fruto, un estrés de agua hará que las cerezas maduren, se vuelvan mas firmes y menos susceptibles a daño. Un periodo de estrés severo evitará que las cerezas llenen adecuadamente. El tamaño del grano está correlacionado con la cantidad total de lluvia o riego entre la octava y decimoséptima semana después de floración (Pesler, 2000).

Un estrés severo de agua podría resultar en que el crecimiento terminal se detenga y el árbol comenzaría a morirse regresivamente. El riego puede ser utilizado para controlar floraciones, asegurando un periodo de 4-6 semanas de estrés, seguido de riegos regulares, lo que provoca una floración abundante en el árbol (Pesler, 200).

Según ANACAFE (1998), plantaciones con altas densidades incrementarán significativamente el total de agua extraída. Plantaciones muy productivas son más vulnerables al estrés hídrico, mientras que plantaciones menos productivas pueden soportar un menor régimen de humedad. Se ha podido observar que cultivares como Catuai Amarillo y Caturra son mas tolerantes a la sequía. El consumo de agua de la especie *C. arábica* es de 1200-1800 mm/año, mientras que la variedad *C. robusta* es 1500-2000 mm/año (ANACAFE, 1998).

El riego es una tecnología nueva en algunos lugares y se esta poniendo de moda en regiones que tienen problemas de deficiencia hídrica y problemas en su distribución de lluvias. Entre los tipos de riego existentes, los más utilizados en Brasil son los de aspersión (pívot central y autopropulsado) y goteo (microaspersores). Cada quien utilizará el más adecuado basado en su región y su disponibilidad de agua, tamaño del cultivo y valor de la inversión (Kashima, 2000).

En Brasil la mayoría de las plantaciones nuevas se está estableciendo bajo sistemas de riego, por ejemplo en el municipio de Minas Gerais, de las 20,000 ha de café que se cultivan un 90% son irrigadas. En el oeste de Bahía, en la región de Barreira, existen 27 productores con 7,000 ha totalmente irrigadas, la mayoría por pívot central. Todavía existe un potencial para instalar pívot central para 50 mil ha (Kashima, 2000).

Existen estimaciones de áreas con potencial para el cultivo de café con necesidad de irrigación para el Brasil y estas pueden alcanzar las 220,000 hectáreas, habiendo 120,000 hectáreas ya plantadas y 100,000 con posibilidades de plantar con irrigación (Kashima, 2000).

Cuadro1. Areas existentes con riego y áreas con potencial de riego en Brasil, en miles de hectáreas (Kashima, 2000).

REGIONES	CAFÉ EXISTENTE	AREA POTENCIAL	TOTAL
“Cerrado”	60	50	110
“Noreste”	50	40	90
Areas Tradicionales	10	10	20

2.3.1. Balance hídrico en la planta:

El balance hídrico de una planta no es más que el equilibrio que existe entre la cantidad de agua que ingresa por absorción y la cantidad de agua que sale por transpiración. Cuando la transpiración es mayor que la absorción ocurre déficit hídrico y el balance es desfavorable para la planta (Aristizabal, 1998).

Los factores que inciden en la absorción de agua y en la transpiración inciden en el balance hídrico y en consecuencia en el crecimiento y la producción. El balance hídrico negativo puede provocar las siguientes condiciones:

1. Marchitamiento temporal, del cual la planta se recobra sin agregarle agua.
2. Marchitamiento permanente, del cual la planta no se recobra sin agregarle agua.
3. Disminución de la apertura de los estomas y en consecuencia reducción de la fotosíntesis que provoca reducción en el crecimiento y en la producción.
4. Amarillamiento de la planta y caída de hojas, flores y frutos.
5. En el café se puede presentar también secamiento de frutos tiernos y formación de granos negros (Aristizabal, 1998).

Es necesario considerar también que las malezas, además de competir por nutrientes, transpiran abundantemente por lo que también compiten seriamente por agua con la planta. En el caso del café a plena exposición, el control de las malezas es importante para conservar un balance hídrico positivo, sobre todo si la precipitación es insuficiente y mal distribuida. En este caso, la aplicación de residuos (mulch) a los cafetos es una práctica aconsejable (Aristizabal, 1998).

2.3.2. Beneficios del riego para un máximo desarrollo de raíces:

En los dos primeros años después de plantar, es importante un buen desarrollo del sistema radicular. Aplicando agua más allá de la profundidad de las raíces con largos intervalos resultará en un desarrollo más profundo de las raíces secundarias, que son esenciales para la extracción de agua de las partes más profundas del perfil de suelo (Pesler, 2000).

El grueso de las raíces está cerca de la superficie del suelo, y son las raíces de mayor importancia, estas forman un “plato superficial” y se encuentran casi paralelas a la superficie del suelo, hasta 1.2-1.8m del tronco. La mayor parte de las raíces, se encontrarán debajo del dosel de la planta, por lo que es de mucha importancia mantener esta parte con una buena humedad. Menores espaciamiento conducen a un desarrollo más profundo del sistema radicular lo que lograra un mejor uso de las aguas a mayor profundidad (ANACAFE, 1998).

2.3.3. Es necesario un periodo de estrés durante el ciclo de la planta de café?

Mucho antes que la planta muestre cualquier signo de estrés, el mecanismo regulador de agua en la planta comienza a trabajar. Bajo condiciones optimas la planta tiene suficiente agua para mantener su sistema y realizar sus funciones fotosintéticas (Pesler, 2000).

Si la disponibilidad de agua es inadecuada la planta reduce su proceso de transpiración cerrando sus estomas, hasta que el balance sea restaurado. Cuando el estoma se cierra, menos agua puede ser transpirada, menos bióxido de carbono es liberado y el mecanismo fotosintético de la planta se reduce. En áreas con estaciones de lluvias bien definidas, es normal para el café tener una única floración. Esto resulta en una uniformidad de maduración y por lo tanto de corte del fruto. En área donde los periodos de lluvia no están bien definidos durante el año, la floración puede ocurrir varias veces (Pesler, 2000).

Según ANACAFE (1998), se ha reportado que en la especie *C. arábica*, un riego temprano en su ciclo productivo durante la alta intensidad de luz, estimula un intenso crecimiento vegetativo. Esto asegura que hayan gran cantidad de nudos para la floración y una fuerte carga para la siguiente cosecha. En las ramas axilares pueden haber de 4-6 yemas. Estas yemas tienen el potencial de desarrollar flores, ramas vegetativas o permanecer dormidas.

La diferenciación de éstas probablemente se da después de un periodo de varios meses de invierno, subsecuentemente estas yemas requieren un período de relativo estrés para inducir a floración, este estrés es una combinación de déficit de humedad, altas temperaturas e intensa luz solar. Estas son condiciones a las cuales la planta de café esta expuesta bajo condiciones naturales. La floración comenzará al principio de la estación lluviosa. Un periodo de estrés moderado por 6-8 semanas previo a la llegada de las lluvias puede tener un efecto benéfico, estimulando una fuerte floración y cuaje de fruto (Pesler, 2000).

2.3.4. Profundidad y frecuencia de riegos:

- La mayor parte de la raíces se encuentra a una profundidad de 75cm de la superficie.
- El arreglo espacial, el patrón de distribución de raíces y las características del riego en el suelo deben ser tomadas en consideración, para la toma de ciertas decisiones basadas en los siguientes aspectos:
 - * Cuantos aspersores se requieren?
 - * Como serán colocados?
 - * Cual deberá es el rango de emisión?
- El patrón de distribución del agua puede ser afectado por factores como la cobertura del suelo, la materia orgánica o el contenido de grava en el suelo. (Pesler, 2000).

2.3.5. Ventajas y desventajas del riego por aspersión:

Según ANACAFE (1998) estas son:

* Ventajas:

- Menor cantidad de agua requerida. Ahorros de un 30-40% pueden ser obtenidos sin ningún efecto detrimental del cultivo.
- Menor potencia requerida, ahorrando energía.
- Efectos de pobre dotación de agua son reducidos.
- Se puede fertilizar a través del sistema.

*Desventajas:

- Altos costos de instalación iniciales.
- La distribución es afectada por vientos fuertes.

2.4. Calendarización

Según Pesler (2000), para la realización del calendario de riego, tres valores deben ser establecidos para cada suelo:

1. Capacidad de campo del suelo, que es el valor máximo de agua que el suelo puede soportar, después de que el de agua gravitacional se ha percolado.
2. Profundidad de raíces, que se considera donde se localiza entre el 75-82% de estas.
3. Determinación del coeficiente de uniformidad y evapotranspiración.

Demasiada agua aplicada al suelo puede ser perjudicial en algunos casos, más que si no se aplica. Según Pesler (2000), puede causar los siguientes problemas:

- Aireación mala debido a la saturación.
- Lixiviación de los nutrientes de la zona de las raíces.
- Salinización por mal drenaje y mala calidad de agua.
- Pérdida de agua.
- Pérdida de energía.

2.5. Trazado y plantación del cafetal:

Según ANACAFE (1998), se enumeran aspectos importantes a seguir en el establecimiento de un cafetal: Preparación del terreno, marcación del terreno, confección del hoyo, fertilización, plantación de sombra, plantación de cortavientos, control de malezas y plagas.

2.5.1 Preparación del terreno:

Como primer paso se tiene que limpiar el terreno, lo cual se puede realizar con el empleo de equipo mecánico como el arado y la rastra, en caso de no contar con estos implementos o por tener una topografía demasiado quebrada se hará manualmente, complementado en algunas ocasiones con la quema de los desechos vegetales (ANACAFE, 1998). Será conveniente el empleo de herbicidas para eliminar malezas.

2.5.2. Marcación del terreno:

Esto con el objetivo de orientar la plantación, previamente estableciendo la distancia a plantar. Se deberá tomar en cuenta la pendiente del terreno para la orientación de los surcos. Definir el lugar donde será sembrada la planta, de acuerdo con el distanciamiento y sistema de siembra elegido que puede ser a: 2 x 1, 2 x 1.20, 2 x 1.50, 2 x 2, 2.40 x 1.20 ó 2.40 x 1.50 m.

2.5.3. Confección del hoyo:

Dependiendo del tipo de suelo, el hoyo puede tener dimensiones variables. En suelos francos con materia orgánica, se utilizan hoyos pequeños. En suelos arenosos, o arcillosos se preferirá utilizar hoyos más grandes, para incorporar materia orgánica (ANACAFE, 1998). Si el suelo lo permite se podrá hacer el hoyo mecánicamente, utilizando barrenos motorizados con brocas de 8 a 10 pulgadas de diámetro. Se sugiere realizar el ahoyado entre 3 a 9 meses antes de la siembra.

2.5.4. Fertilización:

Es importante ya que los nutrientes en el suelo se encuentren en cantidades diferentes. Las cantidades en el suelo no son las suficientes muchas veces para el desarrollo del cultivo, por lo que se necesita fertilizar. Para esta actividad hay que basarse en los análisis de suelos, para determinar el los tipos de fertilizantes, enmiendas y cantidades de materia orgánica a aplicar (ANACAFE, 1998). Los fertilizantes foliares se utilizarán para corregir una deficiencia nutricional específica y mantener los niveles de micronutrientes en la planta.

2.5.5. Plantación de sombra:

Como en la mayoría de nuestras regiones los periodos de sequía son prolongados, por lo que será necesario utilizar árboles y arbustos como sombra, para reducir la evapotranspiración, y contrarrestar efecto de erosión. Será bueno establecer una sombra temporal mientras que la permanente alcanza su tamaño final (ANACAFE, 1999).

2.5.6. Plantación de tapavientos ó rompevientos:

El viento es un factor que afecta mucho los cafetales, principalmente en los primeros años del cultivo. Para áreas ventosas es necesario establecer hileras con árboles que sirvan como rompevientos (ANACAFE, 1999). Las distancias entre las cortinas rompevientos depende de la topografía y la altura del árbol a usar, un rompevientos protege un área de 8 o 10 veces su altura. Las barreras deben establecerse en forma perpendicular a la dirección del viento.

2.5.7. Control de malezas y plagas:

Variarán de acuerdo a la ecología de cada región, pero independientemente de esta juegan un papel económico importante. Las pérdidas que estas produzcan constituyen un factor negativo en la producción. Lo más adecuado será establecer un manejo integrado de las principales plagas y enfermedades en la zona de cultivo (ANACAFE, 1998).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del proyecto.

El proyecto para el diseño del sistema de riego se realizará en Las fincas de Santa Inés y Zavala, de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicadas en el valle del río Yeguaré, al oriente de Tegucigalpa en el Departamento de Fco. Morazán, Honduras, a una latitud de 14° norte y 87° oeste, a una altura de 800 msnm, con una temperatura promedio anual de 24 °C y una precipitación anual promedio de 1100mm.

La plantación cuenta con un camino principal que atraviesa por la mitad las 10 hectáreas dejando cinco por cada lado. Los lotes por su parte están divididos por calles secundarias de 6m de ancho para facilitar el transporte de la cosecha y otras labores culturales.

3.2. Clima de la zona.

En El Zamorano por los datos climatológicos con que se cuenta se puede decir que hay dos estaciones en el año, una de frecuentes lluvias y la otra de sequía, ambas de una duración promedio de 6 meses. Durante el periodo de lluvias tiende a presentarse un lapso de sequía conocido como “canícula” que tiene una duración de 25 a 30 días, en el que se siembran los cultivos de postrera. Por ser el periodo de sequía tan prolongado y por las limitaciones de agua por las que El Zamorano pasa durante estos meses, es necesario hacer un uso eficiente de las fuentes de agua y poder producir los cultivos eficientemente.

El Zamorano cuenta con una estación meteorológica con un registro de datos de más de 50 años, los que permiten planificar las siembras y hacer estudios con relación a necesidades hídricas que los cultivos necesitan. Los datos proporcionados por la estación meteorológica pueden ser una guía para determinar cuáles serán los periodos de mayor necesidad de agua durante el año y que cantidad de agua necesita para dicha época.

Cuadro 2. Datos climatológicos tomados de la estación meteorológica de El Zamorano para el periodo de Junio 1999 - Febrero 2000.

MES	PRECIPIT. TOT. (mm)	PRECIPIT. X (mm)	EVAP. X (mm)	H.R. X (%)	TEMP. MAX. X (°C)
JUNIO	118.5	6.6	2.7	75.5	30.3
JULIO	84.4	4.9	4.3	78.8	24.0
AGOSTO	29.9	5.0	4.6	82.1	24.3
SEPTIEMBRE	278.0	9.3	3.6	84.9	24.4
OCTUBRE	135.3	4.7	3.67	85.6	22.9
NOVIEMBRE	24.2	0.8	3.36	82.3	20.8
DICIEMBRE	35.6	1.4	3.60	79.5	20.5
ENERO	9.8	0.3	3.90	76.9	20.0
FEBRERO	xx	xx	4.43	76.1	21.1

Fuente: ZESA, 2000

3.3. Definición del diseño de riego.

Se comenzó por definir el área a ser utilizada para el establecimiento de la plantación y luego con la utilización de mapas del lugar se procedió a dividir el terreno en bloques, de manera que la división espacial posible facilitará la disposición del sistema de riego por aspersión. Posteriormente se procedió a seleccionar los aspersores que mejor se adaptaran a las condiciones del suelo como a las necesidades del cultivo, con los bloques y las calles debidamente definidos se calculó el número de laterales, aspersores por lateral, para calcular la pérdida de carga por fricción y la velocidad pie/sec. Finalmente se calculó los requerimientos de cada múltiple (manifold), por bloque (sur y norte), definiendo el diámetro de tubería, el flujo de agua que llevara a cada lateral, su pérdida (Hf/ft), el exceso de presión, el Delta H y la velocidad pie/sec.

3.4. Análisis de suelo.

Las muestras de suelo fueron proporcionadas por el Departamento de Agronomía y los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de El Zamorano. Los porcentajes de arena, limo, arcilla y la textura son del año 1997. Los demás datos fueron tomados de los análisis del suelo del año 2000.

Cuadro 3. Análisis de suelo

# Lab.	Muestra	Textura	% Arena	% Limo	% Arcilla	PH (H ₂ O)	% MO	% N Total	Disponible (ppm)			
									P	K	Ca	Mg
115	Finca Santa Inés.	Franco Arenoso	62	20	18	4.50 F.A.	2.15 M.	0.11 M.	19 M.	178 A.	600 B.	75 B.
118	Finca Zavala	Franco Arenoso	60	22	18	4.85 F.A.	2.98 M.	0.11 M.	9 B.	169 A.	1117 M.	120 B.

Fuente: Laboratorio de Suelos de El Zamorano

FA.= fuertemente ácido.

A.= alto.

M.= medio.

B.= bajo.

3.5. División del área y tipo de riego.

El área cuenta con una extensión de 10 hectáreas y fue dividida en 10 bloques, para facilitar el diseño del riego y su posterior manejo se cuenta con 4 bloques de dimensiones iguales y 6 bloques de áreas diferentes, cinco de estos ubicados en Zavala y los otros cinco en Santa Inés. El área esta dividida por el centro con un camino principal que divide los 10 bloques y estos a su vez están separados por caminos secundarios.

El numero de laterales y aspersores por lotes varia de acuerdo a las dimensiones del bloque. Cada bloque esta dividido en dos, norte y sur, por una tubería secundaria conectada a la tubería principal. De la tubería secundaria saldrán los laterales que llevarán los aspersores, estos laterales son distribuidos individualmente en cada sub-bloque (norte y sur) por múltiples (manifolds). El tipo de riego a utilizar es el de aspersión instalado en forma permanente. Este sistema de riego permitirá realizar las labores del cultivo sin causar ningún daño. La tubería será fija y estará enterrada en el suelo.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PARAMETROS DE DISEÑO

Cultivo: Café

Tipo de Suelo: Franco Arenoso.

4.1.1. Riego por aspersión:

- Método de riego: Aspersión.
- Aspersor seleccionado: Senninger Modelo 3023-2-3/ 4 " M.
Trabajando a 40 PSI con un diámetro mojado de 94 pies.
 $Q = 5.39 \text{ GPM.}$ Boquilla # $9 \times 5 = 9/64" \times 5/16"$
- Total de grupos de riego: 6.
- Máximo número de horas de operación: 10.
- Espaciamiento: 46' x 50'

4.1.2. Memoria de cálculo hidráulica:

Para hacer el cálculo del diseño hidráulico se recurrió a la ayuda de la fórmula de Hazen-Williams y Darcy Weisbach para facilidad de cálculos y comprobación.

Para cada bloque se trabajara con una variación de presión, la cual no deberá sobrepasar el 20 % logrando con esto tener una uniformidad de 90 %. Lo que significa que ni el primer aspersor y el ultimo deberán estar por debajo ó encima de 10 % de su descarga.

4.3. LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO

4.3.1. Tubería de PVC

Diámetro	SDR	Clase	Cantidad
6"	41	100	100
4"	41	100	55
3"	41	100	20
2"	32.5	125	160
1 ½"	32.5	125	740
1"	32.5	125	330
½"	13.5	315	220

4.3.2. Tes SCH40:

Diámetro	Código	Cantidad
6"	401-060	4
6" x 3"	401-530	5
4" x 3"	401-422	4
3"	401-030	14
3" x ½"	401-333	3
2"	401-020	30
2" x ½"	401-247	35
1 ½" x 1 ½" x ½"	401-209	370
1" x 1" x ½"	401-130	50

4.3.3. Codos de 90°:

Diámetro	Código	Cantidad
6"	406-060	4
4"	406-040	2
3"	406-030	30
2"	406-020	55
1 ½"	406-015	80

4.3.4. Reductores:

Diámetro	Código	Cantidad
6" x 4"	437-532	2
3" x 2"	437-338	30
2" x 1 ½"	437-251	55
1 ½" x 1"	437-211	90

4.3.5. Adaptadores macho:

Diámetro	Código	Cantidad
3"	436-030	30

4.3.6. Adaptadores Hembra:

Diámetro	Código	Cantidad
1/2" x 3/4"	435-074	500

4.3.7. Bridas:

Diámetro	Código	Cantidad
6"		4
3"	851-030	30

4.3.8. Tuercas y tornillos:

Diámetro	Cantidad
5/8" x 3 1/2"	90

4.3.9. Válvulas de bronce de disco tipo cuña sólida:

Diámetro	Cantidad
3"	14

4.3.10. Empaque de hule rojo:

Diámetro	Cantidad
3"	28

4.3.11. Aspersores y válvula:

3023-2- 3/4" M nozzle # 9 x 5	Cantidad 500
Válvula de mariposa de 6" tipo wafer con volante operador	1

TOTAL (\$)
22,267.00

5. CONCLUSIONES

- La instalación del sistema de riego por aspersión, servirá como una buena fuente de conocimientos prácticos y técnicos para los estudiantes de El Zamorano y para capacitación de personas involucradas con el cultivo de café.
- La implementación de riego en café, es una buena opción para incrementar los rendimientos promedio, debido a que la planta recibe sus requerimientos precisos de agua.
- Las inversiones iniciales en la instalación de sistemas de riego, son compensadas con la reducción de costos posteriores como menor uso de mano de obra y la aplicación de fertilizantes de una manera mucho más eficiente y por último su verdadero beneficio se verá en los incrementos en rendimientos.

6. RECOMENDACIONES

- Contar con un benéfico de café propio en El Zamorano, cercano a la plantación, para procesar el grano maduro a pergamino y darle un valor agregado.
- Contemplar dar un manejo a esta plantación similar al de una plantación de café orgánico, siguiendo todos los pasos de manejo para poder certificarlo como café orgánico y esto vendría a ser un elemento mas de enseñanza para el estudiante.
- Plantar especies fijadoras de nitrógeno para sombra es importante. También sembrar plantas de cobertura de tipo rastrero como el maní forrajero en las calles de café, que aporten nitrógeno y disminuyan el problema de malezas.
- Hacer las fertilizaciones foliares por medio del riego instalado para hacer un uso más eficiente de este, además de que seria una aplicación mucho mas uniforme.
- Tratar de implementar con el tiempo otros sistemas de riego como el de goteo o micro aspersión para comparar con el de aspersión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE. 1998, Manual de caficultura. Tercera edición. Guatemala. 319 P.
- ANACAFFE. 1999, Manual de caficultura de orgánica. Editorial MacDonald. Guatemala. 159 P.
- ARISTIZABAL, G. 1998, Manual de nutrición y fertilización del café. Instituto de la potasa y el fósforo. Quito, Ecuador. 61 P.
- PESLER, M. 2000, Fertigación e irrigación en café. Evaluaciones en café. Netafim. S. A. Israel. 35 P.
- KASHIMA, T. 2000, Buenos precios revitalizan el cultivo de café moderno. Editorial Futuracomunicacao. Sao Paulo, Brasil. 26 P.

8.ANEXOS

Anexo 2. Precipitación Mensual 1942 - 1999. Estación de El Zamorano.

No.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT/mm	TOT/pul
1	1942				3.8	251.2	154.9	164.1	166.1	182.6	106.7	22.6	36.3		
2	1943	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	83.3	96.8	50.3	175.8	264.7	29.0	6.4	797.0	31.4
3	1944	8.6	5.6	0.0	22.4	86.4	424.4	181.9	203.7	182.6	42.2	38.4	4.6	1200.8	47.3
4	1945	14.2	6.4	10.7	17.5	175.3	240.5	79.0	198.1	330.7	144.5	61.7	11.4	1290.0	50.8
5	1946	18.8	47.2	6.4	3.8	110.5	107.2	87.4	131.8	207.3	150.4	56.1	11.7	938.6	37.0
6	1947	21.3	13.0	7.4	2.5	28.4	162.6	220.7	177.0	148.6	194.6	118.1	34.5	1128.7	44.4
7	1948	12.9	10.4	4.1	6.6	164.3	363.7	184.4	77.0	188.2	175.5	42.2	13.0	1242.3	48.9
8	1949	11.2	7.4	0.0	2.0	42.9	262.4	112.5	55.9	216.4	255.8	34.8	19.3	1020.6	40.2
9	1950	42.7	0.0	6.1	0.0	40.6	310.6	182.9	128.3	144.3	307.6	56.1	0.0	1219.2	48.0
10	1951	2.6	0.0	0.0	3.6	99.3	276.9	124.7	50.8	209.3	86.9	18.3	8.9	881.3	34.7
11	1952	10.4	4.1	67.8	50.5	143.8	449.8	171.5	150.6	185.7	96.3	53.1	2.0	1385.6	54.6
12	1953	0.0	9.7	0.8	7.9	127.0	84.1	59.7	133.1	275.6	178.8	2.8	26.7	906.2	35.7
13	1954	10.4	5.3	6.9	21.6	175.8	407.2	146.8	187.2	251.0	181.9	3.3	6.4	1403.8	55.3
14	1955	0.3	5.1	5.8	45.2	70.1	100.6	392.9	331.5	323.6	351.8	44.7	16.8	1688.4	66.5
15	1956	1.5	8.6	3.6	25.1	160.3	233.2	141.7	55.4	212.3	76.2	58.2	15.0	991.1	39.0
16	1957	23.1	4.3	1.3	65.5	240.0	142.7	111.3	99.1	223.8	98.8	16.8	13.7	1040.4	41.0
17	1958	8.2	0.8	6.6	38.1	212.3	189.0	216.2	104.9	179.1	161.8	34.5	5.8	1157.3	45.6
18	1959	24.1	2.3	1.0		125.7	187.2	87.1	200.4						
19	1960				137.2	343.4	220.2	94.7	211.1	192.8	204.5	86.9	13.5		
20	1961	22.1	21.1	2.5	15.0	21.3	236.7	191.8	93.0	95.5	99.6	65.5	27.2	891.3	35.1
21	1962	0.8	0.0	0.3	67.1	55.1	236.7	133.4	79.8	99.6	100.8	56.6	0.0	830.2	32.7
22	1963	26.1	11.7	16.3	11.2	47.2	139.4	173.7	105.9	120.7	196.9	102.9	0.3	952.3	37.5
23	1964	30.2	12.2	0.3	58.9	92.5	268.2	172.7	182.4	215.1	59.4	62.5	8.1	1162.5	45.8
24	1965	6.4	26.2	6.1	20.6	212.3	189.7	127.0	93.2	191.0	102.4	41.1	14.7	1030.7	40.6
25	1966	4.6	1.8	73.4	48.8	165.6	205.7	166.9	129.3	189.2	186.7	20.1	9.4	1201.5	47.3
26	1967	9.9	7.6	59.2	83.6	7.4	216.4	158.5	102.4	164.8	39.4	28.2	18.3	895.7	35.3
27	1968	22.4	6.9	0.8	4.1	251.7	160.8	80.8	118.4	140.7	107.4	47.8	21.8	963.6	37.9
28	1969	20.1	4.3	29.7	4.6	303.0	280.2	139.2	313.2	333.8	289.3	50.5	13.5	1781.4	70.1
29	1970	9.4	5.8	0.8	47.5	164.6	124.2	209.8	192.5	224.8	127.3	38.6	5.3	1150.6	45.3
30	1971	7.9	7.6	1.5	0.0	199.9	75.9	112.8	148.1	184.7	203.5	22.9	33.5	998.3	39.3
31	1972	12.9	3.3	1.5	1.0	172.7	102.4	99.1	101.9	91.4	89.3	62.5	13.2	751.2	29.6
32	1973	12.9	6.6	0.0	46.0	144.0	153.4	155.4	154.7	142.5	354.8	64.5	6.4	1241.2	48.9
33	1974	26.7	0.8	1.5	3.6	117.6	234.7	136.7	135.4	199.6	89.7	13.0	126.2	1085.5	42.7
34	1975	42.9	1.0	17.0	71.1	192.0	40.9	141.7	140.2	378.2	237.7	149.1			
35	1976		2.8	2.5	3.6	88.4	312.2	91.4	67.8	97.3	221.2	53.6			
36	1977		0.0	0.0	25.4	214.6	199.4	90.2	58.4	306.1	48.3	63.0	8.6		
37	1978	4.6	6.6	9.7	18.0	194.1	132.1	182.6	169.9	197.1	34.3	48.3	20.8	1018.1	40.1
38	1979	4.8	15.7	14.5	102.1	137.4	349.0	161.0	148.1	206.8	118.6	88.6	57.2	1403.8	55.3
39	1980	1.5	5.1	3.6	48.3	314.2	236.7	226.6	109.2	215.9	217.7	17.3	4.8	1400.9	55.2
40	1981	10.7	15.7	55.9	6.4	172.7	228.1	79.2	319.3	97.8	114.8	13.2	98.6	1212.4	47.7
41	1982	43.7	9.1	3.0	0.5	240.8	214.1	96.0	73.7	138.4	107.2	73.7	1.3	1001.5	39.4
42	1983	3.0	14.0	8.9	40.6	52.1	129.3	165.6	133.4	239.3	72.4	63.0	20.1	941.7	37.1
43	1984	15.1	2.6	5.3	10.4	156.0	216.6	174.9	226.9	230.4	162.8	15.5	15.5	1232.0	48.5
44	1985	5.4	6.1	7.0	126.9	99.5	40.8	85.2	92.2	138.1	142.3	16.2	46.0	805.7	31.7
45	1986	12.9	4.8	0.0	3.9	212.4	86.8	140.9	79.8	230.0	85.0	97.2	10.9	964.6	38.0
46	1987	0.7	0.0	97.2	7.6	133.0	160.5	196.7	133.9	220.4	49.1	9.1	10.0	1018.2	40.1
47	1988	6.5	8.3	47.4	84.0	115.0	212.0	128.3	311.6	261.9	176.9	13.7	4.7	1370.3	53.9
48	1989	16.3	8.2	1.1	2.7	128.6	161.5	110.9	150.8	360.2	92.4	47.7	11.5	1091.9	43.0
49	1990	24.2	7.7	4.3	3.7	111.4	131.8	67.7	166.0	278.2	85.2	110.3	14.7	1005.2	39.6
50	1991	11.3	5.8	1.0	1.8	106.8	167.0	57.7	84.5	171.6	117.6	11.3	16.5	752.9	29.6
51	1992	6.7	5.1	8.9	121.8	205.3	222.9	135.0	55.9	238.4	111.5	23.2	16.5	1151.2	45.3
52	1993	8.7	2.2	0.7	183.5	327.5	389.3	170.5	128.3	175.3	82.5	27.8	15.6	1511.9	59.5
53	1994	6.5	9.3	0.0	21.7	157.8	143.2	77.0	70.2	195.6	135.0	27.8	18.9	863.0	34.0
54	1995	6.8	2.4	18.4	129.5	66.9	138.3	95.6	367.3	271.6	133.8	87.4	32.6	1350.6	53.2
55	1996	26.7	12.9	3.9	14.5	175.1	60.8	201.9	211.2	115.4	270.4	73.9	0.9	1167.6	46.0
56	1997	12.5	8.6	32.6	28.4	17.2	324.9	105.7	77.4	185.5	134.2	118.3	1.4	1046.7	41.2
57	1998	3.2	0.0	5.5	0.6	229.99	133.19	272.65	202.85	87.2	572.38	52.0	13.6	1573.1	61.9
58	1999	16.2	3.0	0.9			112.9	151.2	172.5	328.3	214.9	27.6	30	1057.5	41.6
	PROM.	13.2	7.2	12.0	34.3	149.0	199.5	143.5	145.1	203.3	155.5	48.8	18.4	1118.6	44.0

Fuente: ZESA, 2000