

DISEÑO MODELO DE ESTANQUES CLIMATIZADOS PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA, *Oreochromis sp*, LOCALIZADOS EN LA ZONA FRÍA DEL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA¹

Francisco Javier Borja Gallardo*; Luis Octavio González Salcedo**; Victoria Eugenia Quintero de Vallejo***.

* Ingeniero Agrícola.

** Ingeniero Civil, MSc.; Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Miembro Grupo GEAL. octavilento@yahoo.es

*** Zootecnista, MSc.; Profesora Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. vequinterov@palmira.unal.edu.co

Para la tilapia roja, *Oreochromis sp*, especie de pez más producida en Colombia, se utilizaron metodologías de aprovechamiento de la energía solar, que permitieran su explotación en regiones altas con temperaturas ambiente menores de 24 °C. Se evaluaron cuatro alternativas de climatización de estanques: colectores solares, manta térmica, mangueras térmicas y resistencias eléctricas. La evaluación se realizó considerando funcionalidad, mantenimiento, limitaciones y costos. Se seleccionó el uso de mantas térmicas como la mejor alternativa.

Palabras claves: Tilapia roja; Estanque piscícola; acuicultura; Climatización de estanques; Energía solar; Aprovechamiento fototérmico; Manta térmica.

¹ Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola), Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (BORJA, 2003).

INTRODUCCIÓN

Cultivo de la tilapia roja

La tilapia roja (*Oreochromis sp*) por sus hábitos alimentarios, capacidad de adaptación, fácil reproducción, resistencia a enfermedades y posibilidades de soportar condiciones adversas en cultivo, con amplia tolerancia y rápido crecimiento, es ideal para producción en estanques bajo sistemas extensivos o intensivos. Las tilapias han demostrado ser peces con rápida maduración y numerosos desoves anuales, reproduciéndose en los estanques a una temprana edad (dos a tres meses) y cada treinta días si las temperaturas son aptas. Las tilapias son peces de origen tropical, por lo que sus mejores crecimientos se obtienen a temperaturas entre los 24°C y los 30°C. Por encima o por debajo, tanto la reproducción como el crecimiento pueden disminuir hasta detenerse completamente, se deben evitar adicionalmente oscilaciones diarias de temperatura por encima de los 5°C. La temperatura afecta directamente la tasa metabólica de los peces, cuando la una aumenta la otra también lo hace, y por consiguiente el consumo de oxígeno (Castillo, 1994; Chimits, 1998). En Colombia, la tilapia roja (*Oreochromis sp*) es la especie de mayor producción en acuicultura comercial, en 1998 se produjeron 17665 toneladas de tilapia, cifra que supera la producción de trucha (6240 toneladas) especie que se cultiva en clima frío (Castillo, 1994).

Climatización de estanques

La superficie del agua de los estanques absorbe (en el día) o pierde (en la noche) calor, en este caso las aguas calientes de la superficie se tornan menos densas que las aguas frías, ocasionando una estratificación termal en el cuerpo de agua, haciéndose muy evidente cuando las diferencias en densidades de los estratos superiores e inferiores se hacen muy grandes, neutralizándose toda probabilidad de mezcla por la acción del viento y corriendo el riesgo de tener capas sobresaturadas de gases tóxicos inmobilizadas. No es posible cultivar la tilapia en regiones donde las temperaturas sean menores de 22°C, en cultivos a cielo abierto. Esta limitante convierte a la tilapia roja en especie potencialmente aptas para cultivo en las zonas de mayores temperaturas de

DISEÑO MODELO DE ESTANQUES CLIMATIZADOS PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA, *Oreochromis sp*, LOCALIZADOS EN LA ZONA FRÍA DEL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA¹

Francisco Javier Borja Gallardo*; Luis Octavio González Salcedo**; Victoria Eugenia Quintero de Vallejo***.

* Ingeniero Agrícola.

** Ingeniero Civil, MSc.; Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Miembro Grupo GEAL. octavilento@yahoo.es

*** Zootecnista, MSc.; Profesora Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. vequinterov@palmira.unal.edu.co

Para la tilapia roja, *Oreochromis sp*, especie de pez más producida en Colombia, se utilizaron metodologías de aprovechamiento de la energía solar, que permitieran su explotación en regiones altas con temperaturas ambiente menores de 24 °C. Se evaluaron cuatro alternativas de climatización de estanques: colectores solares, manta térmica, mangueras térmicas y resistencias eléctricas. La evaluación se realizó considerando funcionalidad, mantenimiento, limitaciones y costos. Se seleccionó el uso de mantas térmicas como la mejor alternativa.

Palabras claves: Tilapia roja; Estanque piscícola; acuicultura; Climatización de estanques; Energía solar; Aprovechamiento fototérmico; Manta térmica.

¹ Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola), Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (BORJA, 2003).

INTRODUCCIÓN

Cultivo de la tilapia roja

La tilapia roja (*Oreochromis sp*) por sus hábitos alimentarios, capacidad de adaptación, fácil reproducción, resistencia a enfermedades y posibilidades de soportar condiciones adversas en cultivo, con amplia tolerancia y rápido crecimiento, es ideal para producción en estanques bajo sistemas extensivos o intensivos. Las tilapias han demostrado ser peces con rápida maduración y numerosos desoves anuales, reproduciéndose en los estanques a una temprana edad (dos a tres meses) y cada treinta días si las temperaturas son aptas. Las tilapias son peces de origen tropical, por lo que sus mejores crecimientos se obtienen a temperaturas entre los 24°C y los 30°C. Por encima o por debajo, tanto la reproducción como el crecimiento pueden disminuir hasta detenerse completamente, se deben evitar adicionalmente oscilaciones diarias de temperatura por encima de los 5°C. La temperatura afecta directamente la tasa metabólica de los peces, cuando la una aumenta la otra también lo hace, y por consiguiente el consumo de oxígeno (Castillo, 1994; Chimits, 1998). En Colombia, la tilapia roja (*Oreochromis sp*) es la especie de mayor producción en acuicultura comercial, en 1998 se produjeron 17665 toneladas de tilapia, cifra que supera la producción de trucha (6240 toneladas) especie que se cultiva en clima frío (Castillo, 1994).

Climatización de estanques

La superficie del agua de los estanques absorbe (en el día) o pierde (en la noche) calor, en este caso las aguas calientes de la superficie se tornan menos densas que las aguas frías, ocasionando una estratificación termal en el cuerpo de agua, haciéndose muy evidente cuando las diferencias en densidades de los estratos superiores e inferiores se hacen muy grandes, neutralizándose toda probabilidad de mezcla por la acción del viento y corriendo el riesgo de tener capas sobresaturadas de gases tóxicos inmobilizadas. No es posible cultivar la tilapia en regiones donde las temperaturas sean menores de 22°C, en cultivos a cielo abierto. Esta limitante convierte a la tilapia roja en especie potencialmente aptas para cultivo en las zonas de mayores temperaturas de

nuestro país, sin embargo propietarios de estanques en clima frío en algunas ocasiones hacen el intento de producir tilapias obteniendo muy lentos crecimientos y en algunas ocasiones fracasos en la siembra (Gately y Ayub, 1992; Castillo, 1994; Chimits, 1998).

Cálculo de la superficie colectora

La temperatura ideal del agua se sitúa generalmente en el intervalo de los 24°C a los 27°C. Una temperatura superior a los 27°C resulta muy elevada. A efectos de cálculo se elige como temperatura objetivo la de 27°C. El requisito en que se basa esta hipótesis es el de conseguir que la temperatura del agua durante todos los meses sea de 27°C. Un dimensionamiento que asegure una temperatura de 27°C en periodos de invierno hará que, si se mantienen los colectores solares en pleno servicio durante los periodos de verano, la temperatura del agua suba por encima de este valor, cosa no deseable. Para evitar esto, se deberá anular la circulación a través del circuito de los colectores siempre que sea necesario e incluso, en aquellos días de mayor irradiación y temperatura, esta medida puede no ser suficiente. Se deberá entonces hacer funcionar el sistema solar durante la noche para que, forzando la circulación del agua recalentada del estanque a través de los colectores, lograr un cierto enfriamiento de la misma, al producirse una pérdida neta de calor en los colectores por radiación hacia el espacio, sin que simultáneamente reciban ninguna energía del sol, como sucedería durante el día (Meyer y Mejía, 1989). Para mantener una temperatura del agua estabilizada en torno a los 27°C durante el invierno, las pérdidas de calor que, por diversos efectos, ha de sufrir el agua del estanque a lo largo de 24 horas, han de ser exactamente compensadas por las aportaciones energéticas, tanto directas de los rayos solares al incidir sobre la superficie del agua, como las debidas a los colectores solares. Por tanto, se detallarán las diferentes formas por las que un estanque al aire libre pierde calor, haciendo que la temperatura del agua tienda a disminuir. En primer lugar, el agua pierde energía por radiación hacia la atmósfera. Estas pérdidas son mas acentuadas por la noche, al ser la temperatura media de la atmósfera sensiblemente menor que la del día (Meyer y Mejía, 1989).

nuestro país, sin embargo propietarios de estanques en clima frío en algunas ocasiones hacen el intento de producir tilapias obteniendo muy lentos crecimientos y en algunas ocasiones fracasos en la siembra (Gately y Ayub, 1992; Castillo, 1994; Chimits, 1998).

Cálculo de la superficie colectora

La temperatura ideal del agua se sitúa generalmente en el intervalo de los 24°C a los 27°C. Una temperatura superior a los 27°C resulta muy elevada. A efectos de cálculo se elige como temperatura objetivo la de 27°C. El requisito en que se basa esta hipótesis es el de conseguir que la temperatura del agua durante todos los meses sea de 27°C. Un dimensionamiento que asegure una temperatura de 27°C en periodos de invierno hará que, si se mantienen los colectores solares en pleno servicio durante los periodos de verano, la temperatura del agua suba por encima de este valor, cosa no deseable. Para evitar esto, se deberá anular la circulación a través del circuito de los colectores siempre que sea necesario e incluso, en aquellos días de mayor irradiación y temperatura, esta medida puede no ser suficiente. Se deberá entonces hacer funcionar el sistema solar durante la noche para que, forzando la circulación del agua recalentada del estanque a través de los colectores, lograr un cierto enfriamiento de la misma, al producirse una pérdida neta de calor en los colectores por radiación hacia el espacio, sin que simultáneamente reciban ninguna energía del sol, como sucedería durante el día (Meyer y Mejía, 1989). Para mantener una temperatura del agua estabilizada en torno a los 27°C durante el invierno, las pérdidas de calor que, por diversos efectos, ha de sufrir el agua del estanque a lo largo de 24 horas, han de ser exactamente compensadas por las aportaciones energéticas, tanto directas de los rayos solares al incidir sobre la superficie del agua, como las debidas a los colectores solares. Por tanto, se detallarán las diferentes formas por las que un estanque al aire libre pierde calor, haciendo que la temperatura del agua tienda a disminuir. En primer lugar, el agua pierde energía por radiación hacia la atmósfera. Estas pérdidas son mas acentuadas por la noche, al ser la temperatura media de la atmósfera sensiblemente menor que la del día (Meyer y Mejía, 1989).

También existen pérdidas por evaporación, ya que para pasar al estado líquido al de vapor, el agua necesita una apreciable cantidad de energía por gramo evaporado, la cual obtiene a expensas del resto del agua líquida. El fenómeno de la evaporación se produce continuamente, pero depende fuertemente del grado de humedad atmosférica, de la temperatura del aire y de la velocidad del viento. Se producen pérdidas por convección al tocar muy suavemente el aire constantemente la superficie del agua y que también dependen fundamentalmente de la velocidad del viento. Estas pérdidas pueden ser negativas en algunas ocasiones, es decir, el agua puede ser calentada por el aire en el caso de que este se encuentre a una temperatura superior a 27°C. Por último, existen pequeñas pérdidas por conducción a través del fondo y paredes laterales del estanque, pero son despreciables frente al valor de las pérdidas anteriormente descritas (Meyer y Mejía).

El cálculo analítico preciso de cada uno de los diferentes tipos de pérdidas es complejo y prácticamente inviable, pues los diferentes parámetros que intervienen son, en sí mismos, difíciles de conocer y además varían de un día a otro e incluso de una hora a otra. Por ello, se ha desarrollado un método semi-empírico que tiene en cuenta todos los posibles valores medios de dichos parámetros, llegando a obtenerse tablas que resumen los resultados finales de muchas medidas y consideraciones teórico prácticas; éstas expresan numéricamente el valor medio más probable de los diferentes tipos de pérdidas por cada m^2 de superficie del estanque en función de las variables más significativas, con precisión suficiente para la práctica totalidad de los casos que en la realidad pueden presentarse de un estanque al aire libre. De esta manera el proceso de cálculo se simplifica al máximo, pues el proyectista únicamente ha de consultar las tablas, las cuales han sido comprobadas durante varios años, contrastando datos experimentales recogidos de diferentes zonas climáticas (Meyer y Mejía, 1989). Para la confección de las tablas de pérdidas se consideró un estanque de fondo claro, lleno de agua hasta 40 cm del borde, con una profundidad de 2 m y ubicado en un terreno libre de obstáculos y, por tanto, desprotegida de la acción del viento. En la práctica, los valores de las pérdidas, sobre todo las debidas a la convección y evaporación, pueden resultar ligeramente inferiores con solo disponer algún elemento de protección para el

viento(muretes, setos) situado estratégicamente, teniendo en cuenta la dirección predominante del mismo (Meyer y Mejía, 1989).

Uso de manta térmica

Es efectivo cubrir durante la noche la superficie del estanque con una manta aislante de plástico; de esta forma se anulan las pérdidas por evaporación y se reducen muy considerablemente las de radiación y convección. Existen en el mercado varios tipos de mantas para estanques. Las más sencillas están fabricadas de plástico transparente con burbujas de aire, similar a las láminas utilizadas para envolver objetos delicados en embalajes. Para mayor comodidad, la manta se suele recoger enrollándose alrededor de un eje situado en uno de los laterales del estanque. Otra ventaja adicional de la manta es que, mientras está puesta, evita que la suciedad, hojas y objetos se depositen en el estanque y, además, constituye una medida de seguridad si en el lugar hay niños pequeños que por accidente o descuido puedan caer al agua (Meyer y Mejía, 1989). El uso de la manta por las noches a veces es suficiente por si solo para conseguir una temperatura media del agua aceptable, sin necesidad de recurrir a la energía solar ni a ninguna otra fuente de energía, ya que minimiza las pérdidas de calor nocturnas que son las más importantes. Si se combina con un sistema de colectores solares, la manta supone ahorrarse una buena cantidad de metros de los mismos, según se comprobará al manejar las tablas, por lo que aun teniendo en cuenta que las mantas térmicas de calidad son caras, la inversión es rentable. Su uso es, pues, recomendado en casi todos los casos, incluso en el de estanques cubiertos, pues elimina la evaporación nocturna, haciendo innecesaria la ventilación (Meyer y Mejía, 1989).

MÉTODOS Y MATERIALES

Descripción de la zona de estudio

El proyecto se desarrolló en un predio localizado en la Vereda los Laureles, corregimiento de La Elvira, Municipio de Cali sobre la Cordillera Occidental, a un costado de la quebrada Las Dos Margaritas. El terreno tiene una extensión de 6115 m², localizando el estanque sobre un área de 170 m² a una altura de 1849 msnm, con una

topografía típica de montaña, con pendientes naturales que sobrepasan el 50% de inclinación.

Climatología

De acuerdo con los datos climatológicos de la estación hidrológica San Pablo, ubicada en cercanías a la zona de estudio, se presenta una precipitación anual promedio de 1574 mm. La humedad relativa se estima que es de alrededor del 85%. La temperatura está dada fundamentalmente por la posición latitudinal del lugar y por su altura sobre el nivel del mar; para esta zona la temperatura promedio es de 17°C. En la zona se presenta nubosidad constante durante la casi totalidad del año, influenciando en las zonas de vida que allí prosperan. En la zona existen dos clases de corrientes adiabáticas; la primera y la más importante es la que se dirige de la parte alta de la cordillera hacia el valle y que se presenta, generalmente entre las 3 y las 6 PM, los vientos tienen una dirección W-E y alcanzan velocidades de 3 a 4 m/s; la segunda corriente, de menor importancia, es la que en las horas de la mañana se dirige desde el valle hacia la cordillera, esta corriente tiene sentido inverso a la anterior y presenta menor intensidad y velocidad (Borja, 2003).

Cálculo de las pérdidas de calor

Las pérdidas diarias por radiación, evaporación y convección por cada metro cuadrado de estanque, son calculadas a partir de los datos mostrados en los cuadros 1, 2 y 3, respectivamente. Los cuadros 2 y 3, muestran para los vientos predominantes, dos valores, el inferior representa las pérdidas en el caso de utilizar la manta térmica desde las 8 de la noche hasta las 8 de la mañana siguiente. El viento predominante en la zona se determinará de acuerdo con la experiencia de los habitantes del lugar. Se ha tenido en cuenta los periodos en los cuales los vientos no suelen ser demasiado fuertes, por lo que en la mayoría de los casos basta con usar las columnas de la izquierda (viento muy débil o flojo). En cuanto al grado de humedad, se han clasificado las posibles zonas según la humedad relativa del aire en estos mismos periodos de la siguiente forma: 35% - 45% corresponde a una zona muy seca, 45% - 55% a una zona seca, 55% - 65%

a una media, 65% - 75% a una húmeda y mas del 75% a una zona muy húmeda (CENSOLAR, 1993a).

Cuadro 1: Pérdidas por radiación utilizando manta térmica (cmt) y sin utilizar manta térmica (smt) en MJ/m²

T _a °C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
smt	14.6	14.1	13.5	13	12.5	12	11.4	10.8	10.3	9.7	9.1	8.5	7.9	7.3	6.7	6
cmt	9.6	9.2	8.9	8.5	8.2	7.8	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.5	5.1	4.7	4.2	3.8

Cuadro 2: Pérdidas por evaporación (MJ/m²)

Viento predominante	Nulo o muy débil	Flojo	Moderado	Moderadamente fuerte
Muy seco	7.3	9.1	15.1	21.2
	4.4	5.4	9.1	12.7
Seco	6.5	7.8	12.5	17.3
	3.9	4.7	7.5	10.4
Medio	5.6	6.5	9.9	13.4
	3.4	3.9	6	8
Húmedo	4.8	5.2	7.3	9.5
	2.9	3.1	4.4	5.7
Muy húmedo	3.8	3.9	4.8	5.6
	2.3	2.3	2.9	3.4

Una vez halladas las pérdidas totales (P) por m², resultante de la suma de las pérdidas correspondientes a cada una de las tablas, se procede a calcular la radiación solar directa que el estanque recibe a lo largo del día. El estanque es como un gran colector solar horizontal de área (A) expuesto a una irradiación por m² diaria (H). Las pérdidas por reflexión (aproximadamente el 8%) en la superficie del agua, así como las sombras parciales causadas por el borde del estanque y otras pérdidas de menor cuantía, hacen que se recomiende suponer que la energía neta directamente aportada al agua sea igual a 0.85H. Por supuesto, si el estanque recibe sombras de árboles o construcciones en horas en que la radiación solar es apreciable, el coeficiente que multiplica a H todavía será menor, quizás igual a 0.80 o 0.75. En algunas regiones de clima muy

favorable la energía directa $0.85HA$ puede ser mas o menos igual o incluso superior a la perdida total (PA), por lo que se deduce de inmediato que, en dichos supuestos, no se necesitarán colectores solares, bastando la aportación solar natural para conseguir la temperatura requerida. Normalmente, dicha aportación será inferior a las perdidas totales (PA), así que la diferencia entre ambas cantidades será la energía (E_c) que deben suministrar los colectores solares (CENSOLAR, 1993a):

$$E_C = PA - 0.85 HA = (P - 0.85 H) A \quad (1)$$

Cuadro 3: Pérdidas por convección (MJ/m²)

Temperatura del viento predominante T_a (°C)	Nulo o muy débil	Flojo	Moderado	Moderadamente fuerte
15	11.3 6.2	16.3 8.9	20.0 11.0	25.1 13.7
16	10.5 5.7	15.2 8.2	18.7 10.1	23.3 12.6
17	9.7 5.2	14.0 7.5	17.3 9.2	21.6 11.5
18	8.9 4.7	12.9 6.8	15.9 8.3	19.9 10.4
19	8.2 4.2	11.8 6.0	14.5 7.4	18.1 9.3
20	7.4 3.7	10.7 5.3	13.1 6.5	16.4 8.2
21	6.6 3.2	9.5 4.6	11.8 5.7	14.7 7.1
22	5.8 2.7	8.4 3.9	10.4 4.8	13.0 6.0
23	5.1 2.2	7.3 3.2	9.0 3.9	11.2 4.9
24	4.3 1.7	6.2 2.4	7.6 3.0	9.5 3.7
25	3.5 1.2	5.1 1.7	6.2 2.1	7.8 2.6
26	2.7 0.7	3.9 1.0	4.8 1.2	6.0 1.5
27	1.9 0.2	2.8 0.3	3.5 0.3	4.3 0.4
28	1.2 -0.3	1.7 -0.4	2.1 -0.5	2.6 -0.7
29	0.4 -0.8	0.6 -1.2	0.7 -1.4	0.9 -1.8
30	-0.4 -1.3	-0.6 -1.9	-0.7 -2.3	-0.9 -2.9
31	-1.2 -1.8	-1.7 -2.6	-2.1 -3.2	-2.6 -4.0
32	-1.9 -2.3	-2.8 -3.3	-3.5 -4.1	-4.3 -5.1

Una vez halladas las necesidades energéticas (E_C), se procede a calcular el número de m^2 de superficie de los colectores, teniendo en cuenta que la temperatura de trabajo de los mismos será de 27°C y que la inclinación idónea se sitúa en torno a los 35° , aunque es frecuente que, por motivos de economía, los colectores se dispongan horizontalmente, evitándose el uso de una estructura metálica. Por otra parte, al ser estos flexibles, pueden adaptarse bastante bien al terreno, aunque este no sea perfectamente plano (CENSOLAR, 1993a).

Determinación del colector

El tipo de colector a utilizar, escogido por catálogo, es el modelo UNISOLAR 4000, de placa absorbente con tratamiento superficial, de cubierta transparente de cristal templado de 4 mm de espesor, dimensiones de apoyo de 1050 x 2120 x 80.2 mm y superficie útil de captación de 2.13 m^2 , habiéndose determinado por datos suministrados por el fabricante, que su rendimiento va a ser más o menos del 83%.

Disposición de los colectores

Los colectores han de situarse de tal forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovechen al máximo la radiación solar disponible. En general se procura que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la superficie del colector al medio día solar del día medio de la época de utilización del equipo. Las recomendaciones sobre orientación se muestran en el cuadro 4 (CENSOLAR, 1993a):

Cuadro 4: Indicaciones de orientación que se suelen dar a los colectores, según la época del año y el uso a que se le designen.

Utilización	Ángulo de inclinación
Todo el año	Latitud del lugar + 10°
Invierno (Calefacción)	Latitud del lugar + 20°
Verano (Piscinas descubiertas)	Latitud del lugar - 5°

Para una latitud en la zona rural de Cali de 4° y con el incremento de 10° recomendados en el cuadro 4, teniendo en cuenta que el proyecto se va a llevar a cabo todo el año, la inclinación solar para los colectores se recomendaron de 15° . La separación entre

líneas de colectores se establece de tal forma que al medio día solar del día mas desfavorable (altura solar mínima) del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila ha de proyectarse como máximo; sobre la arista inferior de la fila siguiente. En equipos que se utilizan todo el año o en invierno, esta altura solar mínima tiene el siguiente valor (CENSOLAR, 1993a):

$$h_o = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23.5^\circ \quad (2)$$

Para la distancia mínima entre hileras de colectores queda así:

$$d = (\text{sen } \alpha / \tan h_o) + \cos \alpha \quad (3)$$

Para el proyecto, se calcularon los siguientes valores:

$$h_o = (90^\circ - 4^\circ) - 23.5^\circ$$

$$h_o = 62.5^\circ$$

$$d = (\text{sen } 15 / \tan 62.5) + \cos 15$$

$$d = 1.10 \text{ m.}$$

Datos para el cálculo de la climatización

- Área del estanque: $17 \times 10 = 170 \text{ m}^2$.
- Localidad: Vereda Los Laureles (Área rural de Cali).
- Latitud: 4° .
- El área no recibe sombras.
- El viento es de clase moderada.
- El grado de humedad es muy alto (85%).
- Temperatura media durante las horas del sol: $24 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Área del colector: 2.13 m^2 .
- Rendimiento del colector: 83 %.
- Aportación solar directa en la zona durante el año (ver cuadro 5, (CENSOLAR, 1993b)).
- Factor de corrección k para superficies inclinadas para una latitud de 4° (ver cuadro 6, (CENSOLAR, 1993b)).

- Factor de correlación para la aportación solar: 1.05.

Cuadro 5: Valores medios de irradiación solar sobre suelo horizontal para la ciudad de Santiago de Cali.

Ciudad	Latitud	Mes											
		En e	Fe b	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag o	Sep	Oct	Nov	Dic
Cali	4°	16. 2	16. 6	17.4	16.6	16.5	15.9	18.5	18. 5	16.9	16.3	15.8	15. 9

Cuadro 6: Factor de corrección K para una inclinación de 15°

Inclinación	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15°	1.05	1.02	0.98	0.94	0.9	0.88	0.9	0.93	0.98	1.03	1.06	1.07

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Cálculo de pérdidas sin la utilización de manto térmico

- Pérdidas por radiación: 9.7 MJ/m².
- Pérdidas por convección: 7.6 MJ/m².
- Pérdidas por evaporación: 4.8 MJ/m².
- Total de pérdidas: 22.1 MJ/m².

Para el mes de enero se obtiene:

Aportación solar directa:

$$0.85 \times H = 0.85 \times 16.2 \times 1.05 = 14.45 \text{ MJ/m}^2.$$

$$\text{Déficit energético: } 22.1 - 14.45 = 7.64 \text{ MJ/m}^2.$$

Corrección de inclinación: 1.05

La energía aportada por cada metro cuadrado de colector inclinado: $0.83 \times 1.05 \times 16.2 = 14.11 \text{ MJ/m}^2.$

Déficit energético: