

Evaluación de la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguate, región centro oriental de Honduras

Oscar Antonio Ruiz Cruz

ZAMORANO

Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
Diciembre, 2004

Evaluación de la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguaré, región centro oriental de Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
por el título de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
en el grado académico de Licenciatura.

Presentada por:

Oscar Antonio Ruiz Cruz

Honduras
Diciembre, 2004

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

Oscar A. Ruiz Cruz

Honduras
Diciembre, 2004

Evaluación de la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguaré, región centro oriental de Honduras

Presentado por

Oscar Antonio Ruiz Cruz

Aprobada:

Luis Caballero, M.Sc.
Asesor Principal

Mayra Roxana Falck, M.Sc.
Coordinadora de la Carrera de
Desarrollo Socioeconómico y
Ambiente

Marco Granadino, M.Sc.
Asesor

Aurelio Revilla, M.S.A.
Decano Académico Interino

Andrea Orellana, Ing.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por darme la fuerza en todo momento, por su ayuda en los momentos más difíciles en la vida y sobre todo en estos últimos cuatro años.

A mi madre, por se una persona muy especial, por su apoyo incondicional y por estar a mi lado en los momentos mas difíciles.

A mi abuela Dolores Ruiz (Q.D.D.G), por su comprensión y apoyo en todo momento, que aunque ya no este presente físicamente, la llevo en mi corazón como un verdadero ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido la vida hasta el día de hoy, por su ayuda incondicional en los momentos difíciles en toda mi vida, sobre todo en estos cuatro años de estudio que han sido muy importantes en mi vida

A mis padres por confiar en mí en todo momento, por su apoyo incondicional en los momentos en que más los he necesitado.

A mis hermanos Rubén Ruiz y Mauricio Ruiz por sus consejos, su apoyo y sobre todo por haber contribuido a que estos cuatro años de estudio se hicieran realidad.

A mi abuela Julia Hernández, por su ayuda en los momentos cuando más la he necesitado.

A mis asesores: Ingeniero Luis Caballero, Ingeniero Marco Granadino e Ingeniera Andrea Orellana.

Al personal de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, por su valioso apoyo en la realización de este estudio.

Al grupo Roca por su valiosa cooperación en el levantamiento de la información de campo durante la realización de este estudio.

A Toda mi familia en general por su apoyo y por confiar en mí en todo momento.

A todos mis amigos y colegas de la Escuela Agrícola Panamericana, especialmente a todos aquellos que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

Al proyecto Zamorano-USAID Manejo de Agua en las Cuencas de los Ríos Choluteca y Negro por financiar este estudio.

A la Fundación Empresarial para el Desarrollo Educativo (FEPADE) por financiar parte de mis estudios durante estos cuatro años de estudio.

Al Instituto Salvadoreño de Formación Profesional (INSAFORP) por financiar parte de mis estudios durante estos cuatro años.

A mis hermanos por haber financiado parte de mis estudios durante estos cuatro años

RESUMEN

Ruiz Cruz, Oscar. 2004. Evaluación de la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguaré, región centro oriental de Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Valle del Yeguaré, Honduras. 49 p.

El Río Yeguaré y todos sus afluentes son una importante fuente de agua para los municipios que forman parte de la subcuenca. Este río, ha reducido sus caudales y la calidad de agua, cambios que a la fecha no se han cuantificado. En este sentido el propósito de este estudio fue realizar una línea base de la calidad y cantidad de agua, para lo cual se monitorearon parámetros físico-químicos de calidad de agua, los que se utilizaron para el cálculo de índices de contaminación (ICO), así como parámetros bacteriológicos y de cantidad de agua. También se investigaron las causas de la contaminación del río en una zona buffer de un kilómetro. Los resultados de los análisis de laboratorio mostraron que en general el Río Yeguaré se encuentra contaminado. Los parámetros de turbidez, sólidos totales en suspensión, y coliformes totales fueron los que dieron una mejor idea de que el río en general tiene problemas de contaminación. Los resultados de la mediciones de caudal indicaron un ligero aumento en invierno con relación al verano, de $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que representó un incremento de 16%, y entre puntos de monitoreo se mostró una tendencia al aumento a medida que se disminuye la elevación en la subcuenca, de acuerdo a estas mediciones se estimó una producción de agua de $13,245,120 \text{ m}^3$ anuales, suponiendo condiciones similares a las presentadas durante el estudio. En cuanto a las fuentes potenciales de contaminación del río, se encontró que lo que más perjudica la calidad de éste son los asentamientos humanos y las actividades pecuarias; las actividades agrícolas generan un impacto mínimo que se debe a los procesos erosivos y se reflejó en el valor promedio de turbidez de 13.33 NTU, y de sólidos totales disueltos que fue de 188.63 mg/l.

Palabras clave: Actividades pecuarias, asentamientos humanos, caudal, parámetros físico químicos, puntos de monitoreo.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Límites del Estudio.....	2
1.3 Objetivos.....	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Calidad del agua.....	3
2.2.1 Clasificación de calidad de acuerdo a parámetros físico-químicos.....	4
2.2.1 Turbidez.....	4
2.2.2 Dureza.....	4
2.2.3 pH.....	4
2.2.4 Oxígeno disuelto.....	4
2.2.5 Temperatura.....	5
2.2.6 Conductividad eléctrica.....	5
2.2.7 Nitratos y nitritos.....	5
2.2.9 Sólidos suspendidos totales (SST).....	6
2.3 Parámetros bacteriológicos.....	6
2.4 Cantidad de agua.....	7
2.5 Contaminación del agua.....	7
2.6 Tipo y origen de contaminación.....	7
2.7 Monitoreo de calidad del agua.....	8
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1 Descripción del estudio.....	9
3.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....	9

3.3	Selección y ubicación de los puntos de muestreo	9
3.4	Método y periodos de muestreo	10
3.5	Recolección de muestras de agua	10
3.6	Medición de parámetros de calidad y cantidad de agua	10
3.7	Análisis de la calidad de agua	12
3.7.1	Análisis estadístico.....	12
3.8	Agrupación de parámetros para evaluar la calidad del agua.....	12
3.8.1	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	13
3.8.2	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	13
3.8.3	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	13
3.8.4	Índice de contaminación por nivel trófico (ICOTRO).....	13
3.9	Identificación de fuentes potenciales y reales de contaminación	14
3.9.1	Mapeo rápido	14
3.9.2	Inspecciones	14
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1.1	Oxígeno disuelto	15
4.1.2	Temperatura	16
4.1.3	Conductividad	17
4.1.4	Dureza	18
4.1.5	Turbidez	20
4.1.6	pH.....	21
4.1.7	Sólidos suspendidos totales.....	22
4.2	Cuantificación de nutrientes	23
4.2.1	Nitratos.....	23
4.2.2	Nitritos	24
4.2.3	Ortofosfatos.....	25
4.3	Cuantificación de parámetros microbiológicos	27
4.3.1	Coliformes totales y termotolerantes	27
4.4	Agrupación de PARÁMETROS y medición de indicadores	27
4.5	Usos de agua recomendados	28
4.6	Medición de cantidad de agua.....	29
4.7	Identificación de fuentes reales y potenciales de contaminación	31
4.7.1	Identificación de los puntos más vulnerables a contaminación mediante mapeo.....	31
4.7.2	Fuentes de contaminación por agricultura y actividades pecuarias	32
4.8	Actividades de restauración del bosque ribereño.....	33
5	CONCLUSIONES	34
6	RECOMENDACIONES	35
7	BIBLIOGRAFÍA	36
8	ANEXOS	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pag.
1. Metodología para la cuantificación de parámetros de calidad de agua.	11
2. Análisis de varianza para los valores de oxígeno disuelto.....	16
3. Análisis de varianza para los valores de temperatura	17
4. Análisis de varianza para los valores de conductividad.....	18
5. Análisis de varianza para los valores de dureza.....	19
6. Análisis de varianza para los valores de turbidez.	21
7. Análisis de varianza para los valores de pH.	22
8. Análisis de varianza para los valores de sólidos totales disueltos.	23
9. Análisis de varianza para los valores de nitratos.	24
10. Análisis de varianza para los valores de nitritos.	25
11. Análisis de varianza para los valores de nitritos.....	26
12. Índices de contaminación.....	28
13. Clasificación de calidades del agua	28
14. Calidades de agua y usos recomendados.	29
15. Análisis de varianza para la variable caudal	30
16. Áreas cultivadas, usos de agroquímicos y actividades pecuarias	32
17. Especies de preferencia para la restauración de las riveras del río	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Promedio oxígeno disuelto (mg/l) para ocho puntos de muestreo.....	15
2. Promedios de temperatura para ocho puntos de muestreo.....	16
3. Promedios de conductividad para ocho puntos de muestreo.	18
4. Promedios de dureza para ocho puntos de muestreo	19
5. Promedios de turbidez para ocho puntos de muestreo.....	20
6. Promedios de pH para ocho puntos de muestreo.	21
7. Promedios de sólidos totales para ocho puntos de muestreo.	22
8. Promedios de nitratos para ocho puntos de muestreo.....	24
9. Promedios de nitritos para ocho puntos de muestreo	25
10. Promedios de ortofosfatos para ocho puntos de muestreo.....	26
11. Valores promedios de Coliformes totales y termotolerantes	27
12. Valores promedios de caudal en ocho puntos de muestreo.	30
13. Valores de caudal observados durante el periodo de muestreo.	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Pag.
1. Área en hectáreas de los municipios que forman la subcuenca del Río Yeguaré.....	39
2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	39
3. Clasificación de la calidad de aguas fluviales de acuerdo a varios parámetros.....	40
4. Coliformes totales y termotolerantes en ocho puntos de muestreo.....	40
5 Tipo de cobertura y longitud de secciones entre puntos de muestreo.....	40
6. Usos de suelo y asentamientos humanos	41
7. Índices de calidad calculados a partir de la norma de calidad de agua.....	42
8. Bosque de galería.....	42
9. Cobertura de la cuenca Yeguaré.	43
10. Usos de suelos para el área buffer estudiada en el Río Yeguaré.	44
11. Calidad del agua en el Río Yeguaré.....	44
12. Encuesta aplicada a productores de la zona de influencia del Río Yeguaré.....	45
13. Uso de fertilizantes	47
14 Fertilizantes más utilizados.....	47
15. Actividades pecuarias en la zona de influencia	48
16. Deposición de desechos de actividades pecuarias	48
17. Distanciamiento de las fincas de producción hacia el río.....	49

1 INTRODUCCIÓN

El agua, constituye uno de los elementos que permiten la vida de la Tierra y en los últimos años ha sido considerado elemento estratégico para el desarrollo sostenible en los países del área. Según Catalá, citado por Castañeda et al. (2002) a pesar de su gran importancia, muchos estudios han demostrado que es uno de los compuestos más degradados de nuestra biosfera.

Por lo anterior, los esfuerzos por determinar la cantidad de agua disponible en una zona así como su calidad han tomado mucha importancia en los últimos años en Honduras. En consecuencia la planificación y manejo de cuencas hidrográficas ocupa una agenda de alta prioridad para el desarrollo a nivel comunitario, regional y de país.

Aunque a escala global la cantidad de agua se mantiene estable; por el ciclo del agua, la disponibilidad del recurso disminuye a medida que su calidad se deteriora. La principal razón es el crecimiento poblacional que cada día ejerce mayor presión sobre los recursos naturales. Asimismo, por la falta de un ordenamiento territorial adecuado, los impactos sobre las zonas productoras o abastecedoras de agua son aún mayores.

El Río Yeguaré y todos sus afluentes son una importante fuente de agua para los municipios y comunidades que comparten este río; al igual que la mayoría de ríos y cuerpos de agua de la vertiente pacífica de Honduras, se han visto reducidos sus caudales y la calidad de agua con el paso del tiempo, debido al uso no sostenible del recurso, especialmente por el deterioro de zonas de amortiguamiento y recarga hídrica. Sin embargo, a la fecha no se tiene información científica que respalde esta percepción visual. Una forma de cuantificar estos cambios en el tiempo es mediante el levantamiento de una línea base de información que sirva de referencia para establecer las tendencias a mediano y largo plazo.

Por lo anterior, el propósito principal del estudio fue establecer una línea base de la calidad y cantidad de agua del Río Yeguaré, la cual se determinó mediante parámetros físico-químicos y bacteriológicos. El estudio se realizó en la zona de influencia del programa de USAID/CUENCAS, vinculado con los trabajos en manejo de cuencas hidrográficas en la región y es el primer estudio de una serie que se harán; realizado en el cauce principal del Río Yeguaré y será de utilidad para saber qué lugares son los más vulnerables y en qué aspectos, para iniciar en el mediano y largo plazo prácticas de conservación y restauración de la calidad del río.

El estudio se realizó a lo largo del Río Yeguaré, iniciando en la parte alta de este con dos importantes afluentes: La Montaña y Leotuna, finalizando en la parte baja, donde se une con el río Choluteca. El mismo incluyó la evaluación de parámetros calidad y cantidad de agua, la identificación de lugares vulnerables a la contaminación mediante el mapeo y la identificación de fuentes potenciales de contaminación.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El agua del Río Yeguaré está siendo utilizada sin conocer la calidad que esta posee y si es apta para el uso que se le está dando, además, no se conocen las fuentes de contaminación ni el efecto de estas, la oferta o cantidad de agua de este río tampoco está cuantificada, en este sentido, es necesario un estudio que permita, dar respuesta a los problemas anteriores.

1.2 LÍMITES DEL ESTUDIO

El estudio se enfocó en evaluar la calidad de agua del Río Yeguaré usando parámetros físico-químicos y bacteriológicos, en medir la cantidad de agua e identificar fuentes de contaminación y el impacto que están generando.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Generar una línea base de información de la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguaré utilizando parámetros físicos y químicos.

1.3.2 Específicos

Evaluar la calidad y cantidad de agua en el Río Yeguaré por medio del análisis de parámetros físico químicos, bacteriológicos y de cantidad de agua.

Identificar las principales fuentes de contaminación del agua en el Río Yeguaré.

Proponer algunas medidas de prevención y mitigación de la contaminación del Río Yeguaré, útiles para futuras acciones de proyectos.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CALIDAD DEL AGUA

Según Vargas (1996) y FAO (1997) la calidad del agua se define como “El conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua en su estado natural o después de ser alteradas por la acción del hombre”, sin embargo, muchos autores afirman que la calidad tiene un significado particular para cada individuo o grupo, dependiendo del uso para el cual se quiere destinar. Por lo anterior la clasificación de la calidad de agua se hace de acuerdo al uso intencionado, distinguiéndose entre ellos: consumo humano, riego, recreativo, vida acuática y generación hidroeléctrica.

El agua para consumo humano, se clasifica en cuatro clases: 1, 2, 3 y 4, según su calidad. Para hacer esta clasificación los parámetros más importantes son: DQO, DBO₅, NH₄⁺, conductividad, Cl⁻, recuentos microbiológicos y algunos metales (Fe, Cu, Cr).

Para el uso recreativo, los criterios más importantes son los recuentos microbiológicos, el porcentaje de saturación de oxígeno y en menor medida la presencia de aceites y grasas y otros caracteres organolépticos (olor, sabor, etc.). Para determinar la aptitud de las aguas para la vida piscícola influye mucho la concentración de nitritos y también el amoníaco no ionizado, ya que es muy tóxico para los organismos acuáticos, aún a bajas concentraciones. En menor escala influyen también, la DBO₅, amonio, hidrocarburos disueltos y metales (Pb, Cu, Zn).

Para uso como riego, los parámetros más importantes a considerar son la dureza, la salinidad y la conductividad, puesto que está relacionada con la presencia de sales. (Universidad de Navarra 2004).

Según Poch (1999) hay otras formas de definir la calidad de las aguas que se utilizan según lo que interese conocer. Asimismo también se puede determinar y clasificar las calidades de aguas según índices de calidad físico-químicos, como el ICG (Índice de Calidad General), el ISQA (Índice Simplificado de la Calidad del Agua) y el ICO (Índice de Contaminación).

Por otro lado, Echeverría (2000) afirma que se pueden calcular índices de contaminación agrupados como índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por sólidos suspendidos e índice de contaminación por eutroficación, estos índices dan una buena idea de la calidad del agua de una fuente.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DE ACUERDO A PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

De acuerdo al uso que se dará al agua, así se determinará su calidad por medio de los parámetros físico-químicos más adecuados. Dentro de los parámetros físico-químicos los más utilizados son la turbidez, la dureza y el pH (CEPIS 2002).

2.2.1 Turbidez

La turbidez es una medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida. (Lenntech 2004).

El agua visiblemente turbia indica la presencia posible de un mayor número de bacterias de las que se hallarían en el agua clara. La medición de la turbidez se hace en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). El valor recomendado para aguas de consumo humano es de 1 NTU y el valor máximo permisible es de 5 NTU (CEPIS 2002).

2.2.2 Dureza

El término dureza indica el contenido de sales de calcio y magnesio en el agua. Esta medida presenta gran interés pues estas sales son las que se precipitan con el jabón, que pierde así su poder detergente y prácticamente no hace espuma. Por otra parte estas sales se oponen a la cocción de las legumbres (Cauvin y Didier 1964).

El nivel máximo permisible de este parámetro para agua de consumo humano no debe ser mayor a 400 mg/l (OPS 2004).

2.2.3 pH

Según Cauvin y Didier. (1964) el pH es la concentración de hidrogeniones en el agua. Es preferible que el agua sea ligeramente básica; las aguas potables corrientes tienen un pH que está comprendido normalmente entre 7.2 y 7.6. El pH adecuado para agua de consumo debe ser de 8.5. Un pH muy bajo causa corrosión en tuberías, mientras que un pH muy alto causa sensación jabonosa (CEPIS 2002).

El nivel estándar para aguas naturales oscila en un rango de 4.5-9.5 y para agua potable entre 6.5 y 9.5 (CESCCO 2004).

2.2.4 Oxígeno disuelto

“Este parámetro ha sido tradicionalmente uno de los indicadores de calidad de agua más utilizado para el medio fluvial. La razón de esta elección recae en su participación en muchos de los procesos que tienen lugar en el seno del medio acuático y por tanto, en su capacidad de ofrecer una medida global del estado del ecosistema.

El oxígeno es aportado por dos mecanismos, uno físico asociado al proceso de intercambio con la atmósfera y otro biológico debido a la acción fotosintética de los productores primarios. Por el contrario, es consumido por los microorganismos en los procesos de oxidación de la materia orgánica o inorgánica y en los de respiración de los organismos. El equilibrio en todos estos procesos es importante ya que si el consumo aumenta por encima de los aportes, la concentración de oxígeno disminuye, afectando las comunidades de organismos presentes. El hábitat de determinadas comunidades de organismos es afectado cuando las concentraciones de oxígeno son menores a 5 mg/l y valores inferiores a 2 mg/l provocan la muerte de los peces” (Poch 1999).

2.2.5 Temperatura

“La temperatura es un parámetro importante para definir la calidad del agua, en el sentido que afecta a la mayoría de los procesos biológicos que tienen lugar en un ecosistema fluvial. El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de los gases presentes en el agua. En el caso de gases cuya presencia es importante, como es el caso del oxígeno disuelto, un aumento de la temperatura del agua provocará dos efectos: por un lado, habrá menos oxígeno disponible; por el otro, la velocidad con que el oxígeno es consumido será más elevada. Los niveles recomendados de temperatura están entre 21.5 ° C a 25 ° C” (Poch 1999).

2.2.6 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad, la cual está determinada por concentración de sales disueltas. Al ser la conductividad un parámetro relacionado con el conjunto de iones (y por tanto de sales) del agua, no es específico de un tipo de iones, sino globalizador del conjunto de iones. El resultado de la medición se expresa en milisiemens por unidad de longitud (Poch, 1999). Los estándares de calidad de agua afirman que el nivel máximo permisible no debe ser mayor a 1600 μ S/cm (CEPIS 2002).

2.2.7 Nitratos y nitritos

El nitrógeno en forma de nitrato por lo general se presenta en bajas concentraciones en aguas superficiales, pero puede alcanzar elevadas concentraciones en algunas aguas subterráneas.

El nitrógeno en forma de nitrito se presenta en las aguas como un producto intermedio entre los procesos de oxidación o reducción; es un parámetro indicador de contaminación por nutrientes.

Los estándares de calidad de agua para consumo humano consideran valores recomendables de 10 mg/l y niveles máximos permisibles de 50 mg/l para nitratos. Para nitritos se consideran niveles máximos permisibles de 3.0 mg/l. Cuando se sobrepasan

estos límites se presentan enfermedades respiratorias, el síndrome de bebés cianóticos y la vida acuática se ve en peligro. Entre las principales fuentes de este contaminante destacan la contaminación por fertilizantes utilizados en agricultura, percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado y erosión de depósitos naturales (CEPIS 2002).

2.2.8 Ortofosfatos

“Los ortofosfatos son sales solubles del ácido fosfórico que se emplean como fertilizantes y alimentación animal. Son arrastrados por la lluvia y provienen de residuos de granja. También pueden servir como indicador de uso excesivo de detergentes” (Giraldez s.f.). Se consideran niveles recomendados para aguas naturales valores inferiores a 3 mg/l (CESCCO 2004).

2.2.9 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales son sólidos insolubles que flotan en la superficie o están en suspensión en el agua, las aguas residuales u otros líquidos. Estos pueden ser también partículas sólidas orgánicas o inorgánicas (dispersas, coaguladas o floculadas) mantenidas físicamente en suspensión por agitación o flujo (Aguamarket 2004). Según Poch (1999) los niveles recomendados de sólidos suspendidos para agua potable no deben ser mayores a 25 mg/l, con estos niveles solo recomienda tratamiento físico simple y desinfección.

2.3 PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS

Para la evaluación de la calidad microbiológica del agua existen muchos organismos indicadores, pero son poco prácticos y de alto costo. En vista de estos inconvenientes se ha buscado un método más seguro y económico para establecer la calidad higiénica de las aguas. Este método se basa en la investigación de bacterias coliformes como indicadores de contaminación fecal.

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Se consideran niveles máximos permitidos de coliformes fecales cero colonias por 100 ml de muestra para agua potable, menos de 200 colonias por 100 ml para natación y para navegación y pesca no deben pasar de 1000 colonias por 100 ml de muestra (OPS 2004).

2.4 CANTIDAD DE AGUA

La medición de la cantidad de agua que fluye por un punto de determinado del río en un momento dado es requerida durante las mediciones de calidad. Asimismo la cantidad determina la oferta de agua en un momento dado y de cierta forma la capacidad de abastecer cierto nivel de demanda.¹

La cuantificación de este parámetro se realiza mediante las mediciones de caudal. Existen varios métodos para medirlo y estos varían de acuerdo a la precisión deseada y disponibilidad de equipo. Es importante conocer la cantidad de agua que es producida, para determinar las actividades que se deben realizar para mejorar o mantener la calidad y la producción de agua.

2.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. La contaminación se caracteriza por la incorporación de materias extrañas, como ser: microorganismos, productos químicos, sólidos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos (Capa 2003).

2.6 TIPO Y ORIGEN DE CONTAMINACIÓN

La contaminación se clasifica por su origen en puntual, no puntual y natural. La contaminación puntual es producida por un foco emisor determinado y afecta a una zona concreta, en este caso se pueden tomar medidas correctivas con el contaminador; mientras que la contaminación difusa o no puntual es aquella en la su origen no está claramente definido. Esta aparece en zonas amplias y no tiene foco emisor concreto, por lo tanto es muy difícil deducir responsabilidades. La contaminación natural consiste en la presencia de determinadas sustancias, organismos y elementos en el agua y que no se debe a intervención humana. (Capa 2003).

La contaminación de origen urbano es el resultado del uso del agua en viviendas, actividades comerciales y de servicios, lo que genera aguas residuales, que son devueltas al receptor con un contenido de residuos fecales, desechos de alimentos y en la actualidad con un incremento de productos químicos (Capa 2003).

La contaminación de origen agrícola se deriva del uso de plaguicidas, pesticidas, biocidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego, llevando consigo sales compuestas de nitrógeno, fósforo, azufre y trazas de elementos

¹Caballero, L. (2004). Escuela Agrícola Panamericana. Comunicación personal

organoclorados que pueden llegar al suelo por lixiviado y contaminar las aguas subterráneas

La contaminación de origen industrial es una de las que produce un mayor impacto, por la gran variedad de materiales y fuentes de energía que aporta al agua (Capa 2003).

2.7 MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

El monitoreo de calidad de agua se realiza de acuerdo al tipo de agua y del uso que se tiene previsto para la misma. Se recomienda realizar un análisis (llamado primer análisis), que se lleva a cabo antes de la realización de los muestreos. La lista de parámetros a analizar es definida por las autoridades nacionales competentes, quienes también determinan la frecuencia de muestreos que debe utilizarse (OPS/OMS 2004).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

El estudio consistió en el levantamiento de una línea base de la calidad y cantidad de agua del Río Yeguaré. Con relación a la calidad de agua se analizaron las siguientes variables: turbidez, dureza, pH, conductividad, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, sólidos suspendidos totales, ortofosfatos, temperatura, coliformes totales y termotolerantes y para la cantidad se realizaron mediciones de caudal. Las mediciones se realizaron en ocho puntos de muestreo, siguiendo algunos parámetros técnicos de muestreo que serán mencionados más adelante. El periodo de muestreo y análisis de campo y laboratorio se realizó entre el 24 de marzo y el 15 de agosto de 2004.

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la subcuenca del Río Yeguaré, región centro oriental de Honduras. Esta subcuenca del Río Choluteca está ubicada en las coordenadas UTM: 486133, 1568476; 514040, 1568476; 514040, 1528907; 486133, 1528907. Esta subcuenca tiene una extensión de 52,363 hectáreas aproximadamente, la forman nueve municipios: Güinope, Yuscarán, Morocelí, San Antonio de Oriente, Tatumbla, Valle de Ángeles, Santa Lucía, Distrito Central y Maraita (Anexo 1).

Esta subcuenca tiene aproximadamente 215 ríos de los cuales el cauce principal es el Río Yeguaré con una longitud de 28.95 Km. El estudio se realizó en el Río Yeguaré y en dos de sus importantes afluentes: Leotuna y La Montaña.

3.3 SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se identificaron ocho puntos estratégicos para el monitoreo de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad y cantidad de agua del Río Yeguaré, utilizando los criterios de pendiente del río (homogeneidad de la corriente), facilidad de acceso, presencia de tributarios y uso de la tierra, en una sección longitudinal determinado por una zona buffer de un kilómetro.

Los ocho puntos seleccionados de acuerdo a los parámetros anteriores fueron: Puente Yeguaré (antes de la unión del Río Yeguaré con el Río Choluteca, en el Valle de Morocelí); El Censo (entre la cañera de Rapaco y el Valle de Morocelí); Puente Santa Clara (al principio del Valle Yeguaré); La Vega 7 (Zamorano); Puente Santa Rosa (finalización del Valle Yeguaré); Valle San Francisco (a mediciones del valle del Yeguaré), Puente Leotuna (Río Leotuna) y Río La Montaña.

Los puntos seleccionados fueron georeferenciados para facilitar el monitoreo de la calidad de agua a largo plazo (Anexo 2).

3.4 MÉTODO Y PERIODOS DE MUESTREO

Los parámetros a medir se dividieron en parámetros de análisis insitu (en el campo) y parámetros de laboratorio.

En el campo se midieron los siguientes parámetros físico-químicos: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, dureza y turbidez, mientras que, en el laboratorio se analizaron los parámetros de pH, nitratos, nitritos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales y coliformes totales y termotolerantes. Dichos análisis fueron realizados en el laboratorio de aguas de CESSCO, Tegucigalpa.

Se realizaron dos muestreos en los meses de marzo y abril, los cuales constituyen el final del período seco. Para la época lluviosa se realizaron tres muestreos en los meses de junio, julio y agosto.

3.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos se colectaron en botellas previamente lavadas con agua y jabón; mientras que para los análisis de coliformes se usó bolsas estériles de 700 ml.

En cada punto de muestreo se tomó una muestra de dos litros mediante la integración de cuatro submuestras y así obtener una muestra homogénea y representativa. Las muestras se mantuvieron refrigeradas durante su transporte para mantenerlas a una temperatura de 4° C, según lo establecen los protocolos de laboratorio ya que temperatura mayores a 4° C pueden afectar los resultados de algunos parámetros.

3.6 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA

Como se explicó anteriormente para este estudio se midieron 12 parámetros los cuales se clasificaron en físico-químicos, bacteriológicos y de cantidad de agua.

Los análisis de laboratorio, se realizaron en el Centro de Investigación y Control de Contaminantes (CESCCO), siguiendo los procedimientos discutidos en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (1998) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Metodología utilizada para la cuantificación de los parámetros analizados en el estudio de calidad y cantidad de agua en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Parámetro	Lugar	Metodología
Oxígeno disuelto Temperatura Conductividad eléctrica	en el campo	Electrodo de membrana, medidor de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y salinidad, modelo 50 B, marca YSI.
Turbidez	en el campo	Nefelométrico. Turbidímetro marca Orbeco-Hellige, se calibró con sustancia calibradora para 0 NTU Y 40 NTU.
Dureza	en el campo	Titulación. Kit de campo marca LaMmote, pastilla de CaCO ₃ como indicador y ácido como titulante.
pH	CESCCO	4500HB Electrométrico basado en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (CESCCO, 2004).
Sólidos suspendidos totales (SST)	CESCCO	2540 D Sólidos Suspendidos Totales secados a 103- 105 ° C basado en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (CESCCO, 2004).
Nitratos	CESCCO	4500-NO ₃ - B Espectrofotométrico Ultravioleta, basado en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (CESCCO, 2004).
Nitritos	CESCCO	4500-NO ₂ - B Colorimétrico, basado en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (CESCCO, 2004).
Ortofosfatos	CESCCO	4500-P-D Cloruro de Estaño basado en el Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (CESCCO, 2004).

Coliformes totales	CESCCO	PARTE, 9222-B (CESCCO, 2004).
Coliformes termotolerantes	CESCCO	PARTE, 9222-D (CESCCO, 2004).
Caudal	en el campo	Método del molinete o metro corriente usando la formula $Q = \text{Área} * \text{Velocidad}$. Usando áreas parciales menores al 10% del área total.

3.7 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA

Se probaron las hipótesis nulas que afirman lo siguiente:

No existen diferencias significativas en los parámetros de calidad y cantidad de agua entre los diferentes puntos de muestreo.

No existen diferencias significativas en los parámetros de calidad y cantidad de agua entre época (verano comparado con invierno).

3.7.1 Análisis estadístico

Para la comprobación de las hipótesis anteriores se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y separación múltiple de medias para determinar si existía diferencia de los parámetros estudiados entre puntos y época de muestreo. El modelo estadístico utilizado fue BCA (Bloque Completamente al Azar).

Los datos fueron analizados con el programa estadístico Statistical Analyst System (SAS), utilizando la prueba de separación de medias NSK (Student-Newman-Keuls). El análisis fue realizado con un intervalo de confianza de 95%.

3.8 AGRUPACIÓN DE PARÁMETROS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA

Se agruparon los parámetros por tipos para facilitar el análisis, esta agrupación permitió calcular índices que facilitaron la clasificación del agua del río de acuerdo a calidad y así determinar el uso apropiado. Los índices calculados fueron los siguientes:

3.8.1 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Este indicador se obtuvo mediante la agrupación de los parámetros: coliformes totales, oxígeno disuelto, nitritos y ortofosfatos, ya que según Ramírez, citado por Echeverría (2000) estos parámetros se relacionan con la contaminación orgánica.

Este indicador se calculó dándole un valor entre 0 y 1 al valor promedio obtenido en los muestreos para cada parámetro, para ello se tomó como base el valor de la norma de agua de peor calidad o Categoría 4, al cual se le asignó un valor de 1; de la misma manera se le dio un valor entre 0 y 1 a los valores de la norma considerados como Categoría 1, 2 y 3 para establecer una comparación entre el índice obtenido a partir de los muestreos y los obtenidos de la norma, los cuales están clasificados en las categorías 1, 2, 3 y 4. El índice general se calculó sacando un promedio de los índices de todos los parámetros agrupados.

3.8.2 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Para calcular este indicador se agruparon los parámetros de conductividad y dureza. Los índices se calcularon comparando los valores de la norma de agua para cada parámetro con los valores obtenidos en el campo, dándole un valor de 0 al valor de mejor calidad y 1 al de peor calidad.

3.8.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Este indicador se calculó utilizando el parámetro sólidos suspendidos totales, este indicador permitió comparar contaminación por procesos erosivos en los puntos de muestreo con una medición directa como lo son los sólidos suspendidos totales. El indicador se calculó dándole un valor entre 0 y 1 a los valores de la norma de agua, tomando como base el valor de peor calidad en la norma de agua, al que se le asignó un valor de 1. Asimismo se tomó como base el valor de peor calidad de la norma y se calculó un índice para los valores promedios de cada punto de muestreo para compararlos con los índices correspondientes a las Categorías 1, 2, 3 y 4 de la norma de calidad de agua.

3.8.4 Índice de contaminación por nivel trófico (ICOTRO)

Este indicador considera el fósforo como nutriente limitante y clasifica el agua en Oligotrofia, Mesotrofia, Eutrofia, e Hipereutrofia, en orden de menor a mayor contaminación (Echeverría 2000). Para este índice no se realizó ningún cálculo ya que cada valor promedio por punto de muestreo presentó una Categoría en particular de acuerdo a los valores permisibles (Anexo 3).

3.9 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES POTENCIALES Y REALES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes potenciales de contaminación se determinaron mediante mapeo, y se determinó si estas fuentes eran las causas reales de contaminación mediante observación de campo y los análisis de laboratorio.

3.9.1 Mapeo rápido

Este análisis se realizó con ayuda de GPS, hojas cartográficas e información geográfica existente; utilizando el programa Arc View se identificaron los lugares más vulnerables y se hizo inferencia sobre las causas potenciales de contaminación, como son el deterioro de la vegetación, asentamientos humanos, actividades agrícolas, actividades agroindustriales y deposición final de aguas residuales urbanas.

La metodología usada fue la delimitación de una zona buffer de un kilómetro para el Río Yeguaré en general y zonas buffer de 500 metros para los puntos de muestreo. Las zonas buffer fueron creadas mediante la función crear buffer del menú tema en el programa Arc View.

3.9.2 Inspecciones

Se realizaron inspecciones para identificar las fuentes de contaminación, se hicieron visitas, entrevistas, encuestas a la comunidad, sobre manejo de desechos sólidos y líquidos y medidas para evitar la contaminación del río. Asimismo mediante visitas se identificó puntos de contaminación no puntual, como la presencia de rellenos sanitarios, botaderos de basura, asentamientos humanos, actividades agrícolas y pecuarias que se encuentran dentro de la zona buffer delimitada.

Para facilitar la recolección de información sobre fuentes de contaminación y actividades de restauración de las riveras del Río Yeguaré, además de las inspecciones se utilizó una encuesta enfocada a las actividades agrícolas y pecuarias (Anexo 12). El análisis se realizó con el programa estadístico SPSS 10.0.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

A continuación se presenta el análisis y discusión de los resultados de las mediciones de los parámetros estudiados: oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, dureza, turbidez, pH, sólidos suspendidos totales, nitratos, nitritos, ortofosfatos y coliformes totales y termotolerantes.

4.1.1 Oxígeno disuelto

Para este parámetro se encontró el mayor valor promedio en el Puente Santa Clara (9.77 mg/l). Mientras que los valores más bajos se encontraron en La Vega y El Censo, 7.34 mg/l y 7.47 mg/l respectivamente, sin embargo estadísticamente no hay diferencia (Figura 1). Todos los puntos de muestreo cumplen con la norma de calidad de agua para cuerpos naturales ya que se requieren valores arriba de 5 mg/l para mantener la vida acuática. De acuerdo a estos valores todos los puntos de muestreo clasifican en la Categoría 1 de calidad de agua (Poch 1999).

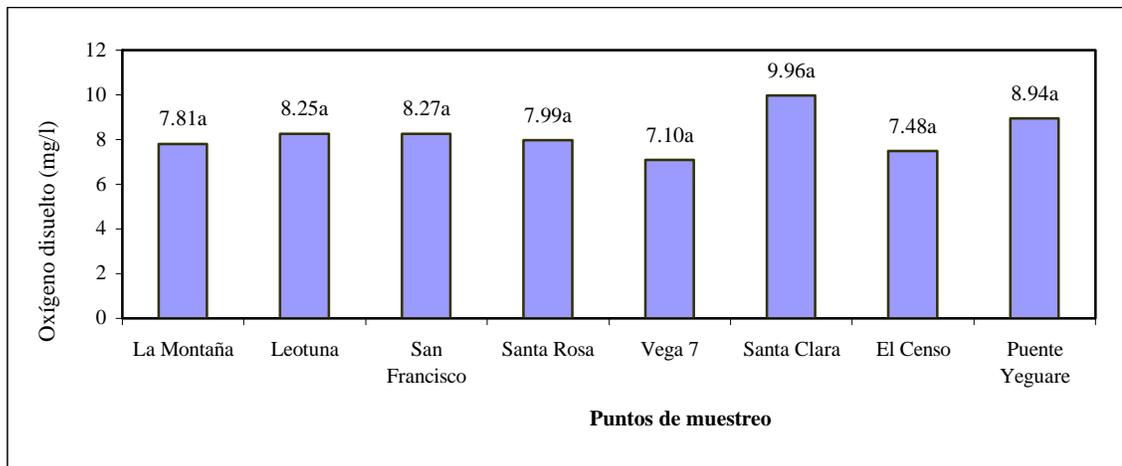


Figura 1. Promedio oxígeno disuelto (mg/l) para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales.

El valor promedio de oxígeno disuelto en el periodo de estudio fue de 7.98 mg/l, mientras que los valores promedios por época fueron 8.57 mg/l y 7.58 mg/l en verano e invierno respectivamente, lo que indica una disminución del 12% en el parámetro en invierno y que fue estadísticamente diferente; mientras que en la concentración de oxígeno disuelto entre punto, entre repetición y en la interacción época * punto no se encontró diferencia estadística (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para los valores de oxígeno disuelto, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	1.29	0.2900 ¹
Época	1	9.46	0.0044
Repetición	4	1.653	0.1890
Época * Punto	7	1.206	0.3280

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.1.2 Temperatura

El valor máximo de temperatura se encontró en el punto de muestreo El Censo (26.83°C), mientras que el mínimo se encontró en La Montaña (22.83°C). Tal como lo establece Poch (1999) todos los puntos se clasifican en las categorías 2 y 3, cuyo rango va de 21.5°C a 25°C (Figura 2).

Entre los posibles factores que influyen en la temperatura del agua está principalmente la cobertura, ya que los cambios en elevación no son muy marcados.

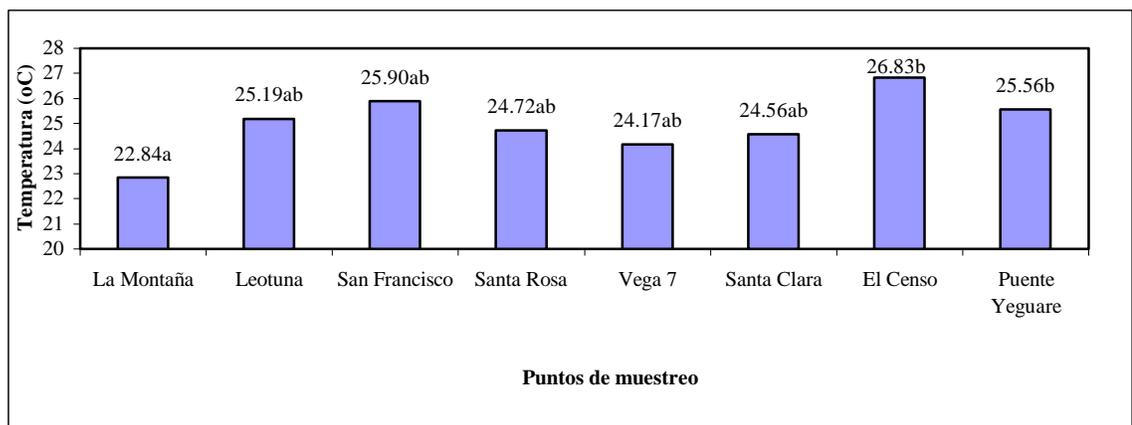


Figura 2. Promedios de temperatura para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales.

El valor promedio de temperatura para el periodo de estudio en los ocho puntos de muestreo fue de 24.97°C, mientras que los promedios de verano e invierno fueron de 24.10°C y 25.54°C respectivamente. Lo anterior nos demuestra que las temperaturas de verano fueron estadísticamente menores a las de invierno, esto es un comportamiento anormal producto de la sequía prolongada y las altas temperaturas ambientales que se presentaron en el periodo de muestreo. Asimismo se encontró diferencia significativa entre los puntos de muestreo no así entre en la interacción época* punto. (Cuadro 3). Los datos presentaron una baja variabilidad (CV = 5.99).

Cuadro 3. Análisis de varianza para los valores de temperatura, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	3.24	0.0108 ¹
Época	1	8.99	0.0053
Repetición	4	1.82	0.1530
Época * Punto	7	0.67	0.6980

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.1.3 Conductividad

Los valores máximos de conductividad se encontraron en los puntos El Censo y Puente Yeguaré, con valores de 214.43 µS/cm y 201.28 µS/cm respectivamente (figura 3). La diferencia es posiblemente producto de las actividades agrícolas en la zona y que se encuentran en la parte más baja de la cuenca. Todos los puntos están dentro del valor máximo permisible de 400 µS/cm para consumo humano. Según Echeverría (2000) todos los puntos se encontraron en calidad tipo 1 de acuerdo a este parámetro.

Valores inferiores a 1000 µS/cm Indican agua de buena calidad; mientras que arriba de este valor se indicaría la presencia de sales que pueden ser perjudiciales en actividades de riego o en el consumo humano. (OPS 2004).

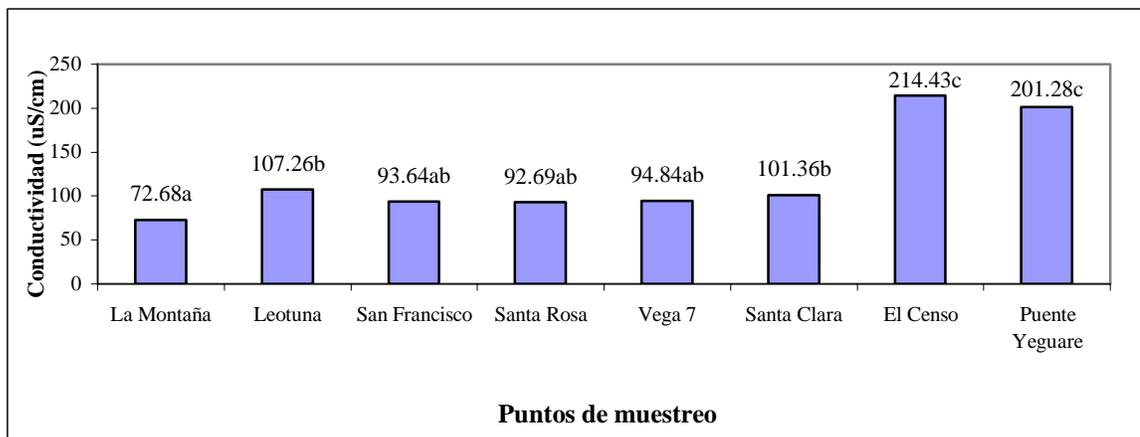


Figura 3. Promedios de conductividad para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.

El valor promedio de conductividad para los ocho puntos de muestreo fue de 122.27 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los valores promedios de verano e invierno fueron 121.87 y 122.54 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, no hubo diferencia estadística significativa; igualmente entre muestreo y en la interacción punto época no hubo diferencias significativas, sin embargo entre puntos sí se presentaron diferencias (Cuadro 4).

Los datos presentaron una variabilidad baja ($\text{CV} = 11.02$).

Cuadro 4. Análisis de varianza para los valores de conductividad, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	79.950	< 0.0001 ¹
Época	1	0.024	0.8770
Repetición	4	1.265	0.3070
Época * Punto	7	0.720	0.6560

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.1.4 Dureza

El punto que presentó el mayor valor de dureza fue el Puente Yeguaré con 76.8 mg/l, el menor lo presentó La Montaña con 16.64 mg/l. (Figura 4). Todos los puntos se encuentran en la Categoría 1, a excepción de El Censo y Puente Yeguaré que se clasifican como Categoría 2. De acuerdo a esta clasificación aguas con dureza abajo de 50 mg/l se consideran blandas y se consideran como Categoría 1; entre 50 y 100 mg/l, Categoría 2; entre 100 y 200 mg/l Categoría 3 y mayor que 200 mg/l Categoría 4. (Echeverría 2000).

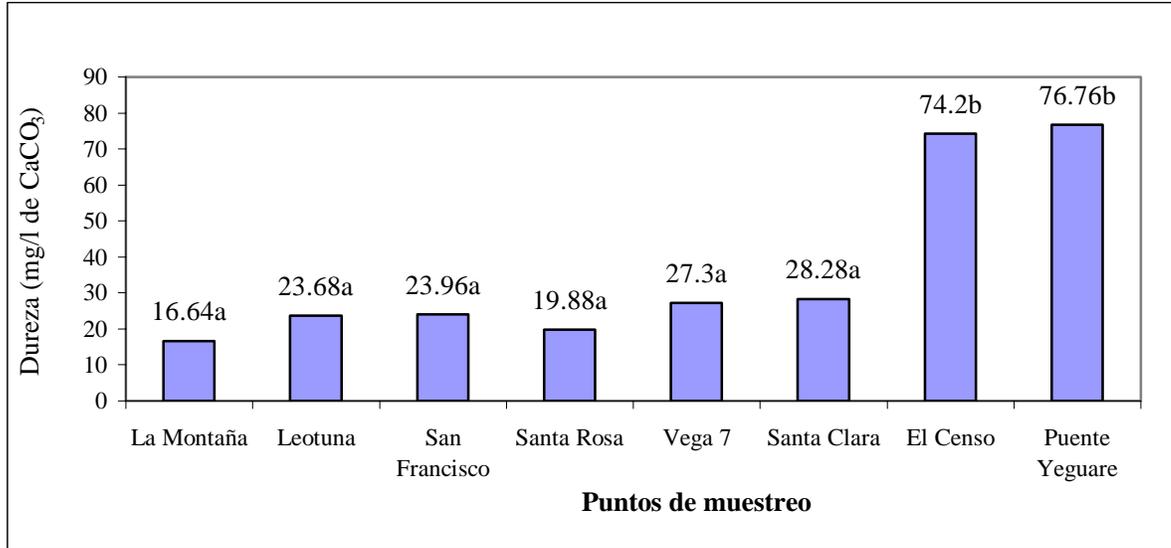


Figura 4. Promedios de dureza para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales.

El valor promedio para el periodo de estudio para la variable dureza fue de 36.34 mg/l de CaCO₃, los valores promedios de verano e invierno fueron 43.44 y 31.40 mg/l de CaCO₃ respectivamente. Estadísticamente se puede inferir este parámetro fue mas bajo en invierno, según este parámetro el agua presentó mejor calidad en invierno, esta disminución en invierno está asociada al mayor flujo de agua lo que evita la acumulación de CaCO₃.

La dureza presentó diferencias entre puntos de muestreo y entre muestreos (Cuadro 5). Se presentó una baja variabilidad de los datos (CV = 25.22).

Cuadro 5. Análisis de varianza para los valores de dureza, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	35.62	<0.0001 ¹
Época	1	16.01	<0.0004
Repetición	4	6.91	0.0010
Época * Punto	7	0.54	0.7940

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.1.5 Turbidez

El punto que presentó el mayor valor promedio de turbidez fue el del Río Leotuna, esto se debe a la gran cantidad de sedimentos que acarrea el río desde la parte alta donde las pendientes son pronunciadas. El valor más bajo se presentó en el Puente Yeguaré, este comportamiento se debe a la gran cantidad de agua que pasa por el río, lo cual es capaz de diluir los sedimentos que arrastra el río desde la parte alta (Figura 5).

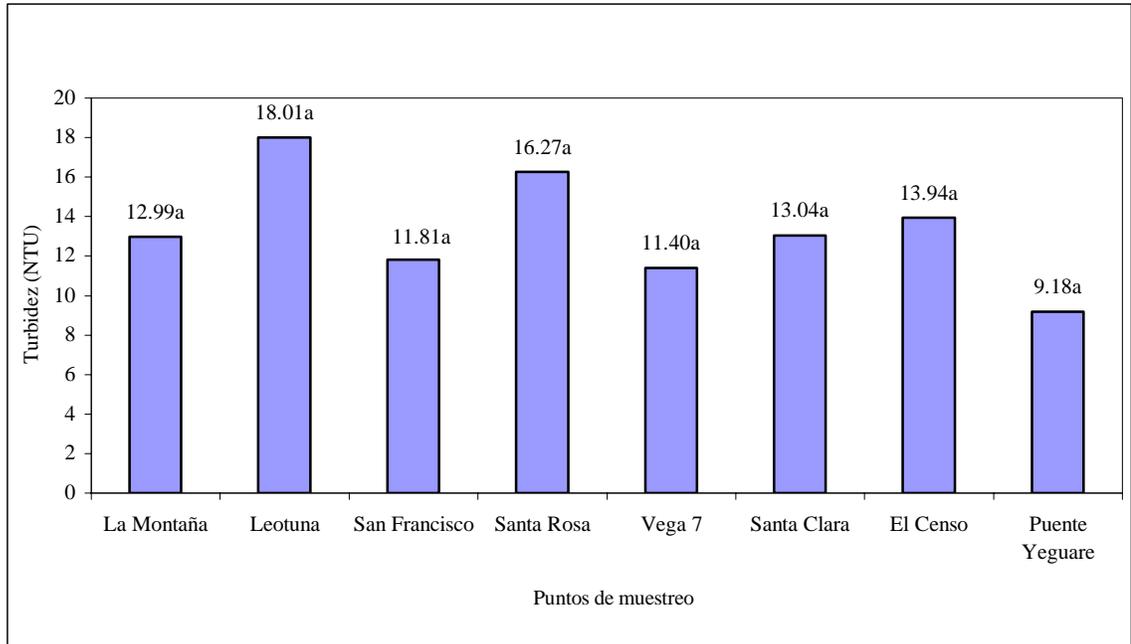


Figura 5. Promedios para el periodo de estudio de turbidez para ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales

El valor promedio de turbidez en los ocho puntos de muestreo fue de 13.33 NTU, los valores para verano e invierno fueron de 6.87 y 17.63 NTU respectivamente, lo anterior indica un cambio del 61% en este parámetro al iniciar las lluvias, este es un cambio estadísticamente significativo, lo que indica que en invierno disminuye la calidad de agua según este parámetro, entre muestreos también se presentó diferencia significativa, mientras que en la clasificación por punto y en la interacción época * punto; no se observaron diferencias (Cuadro 6). Es necesario hacer notar que se presentó una variabilidad alta en los datos (CV = 90.6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para los valores de turbidez, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	0.220	0.9623 ¹
Época	1	14.874	0.0096
Repetición	4	8.112	0.0000
Época * Punto	7	0.591	0.7580

¹Valores < 0.05 son estadísticamente significativos

La no diferencia estadística entre puntos se atribuye a que los procesos erosivos ocurren en todos los puntos de la cuenca ya que no se están haciendo suficientes prácticas de conservación de suelos para evitar la erosión en ningún punto. Ningún punto de muestreo cumplió con el valor recomendado de 5 NTU para este parámetro.

4.1.6 pH

Este parámetro mostró una tendencia uniforme para todos los puntos, todos se encontraron en un rango entre 7.08 y 7.60 (Figura 6).

Todos los puntos se clasifican en la Clase 1. Según Poch (1999) aguas con valores de pH entre 6.5 y 8.5 se consideran en la Clase 1 ó 2.

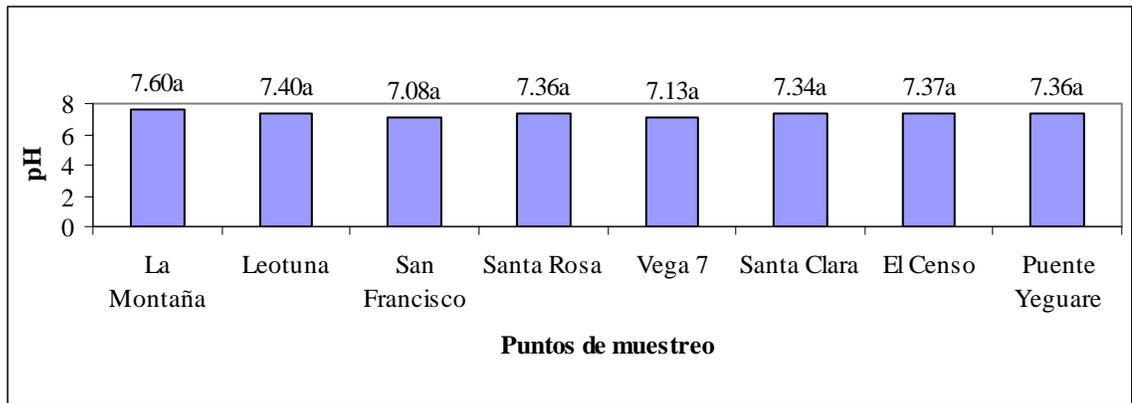


Figura 6. Promedios para el periodo de estudio de pH en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales.

El valor promedio de pH para el periodo de estudio de este parámetro fue de 7.33, mientras que los promedios por época fueron 7.07 y 7.50 en verano e invierno respectivamente. El pH mostró un ligero aumento en invierno el cual fue estadísticamente significativo, sin embargo estos valores reflejan agua de buena calidad. Se establecen

valores entre 4.5 y 9.5 para preservación de la vida acuática en cuerpos naturales (CESCCO 2004).

No se encontró diferencia significativa entre puntos, entre repetición y en la interacción época * punto (Cuadro 7). Se presentó una baja variabilidad de los datos (CV = 4.96).

Cuadro 7. Análisis de varianza para los valores de pH, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	0.99	0.4569 ¹
Época	1	14.02	0.0007
Repetición	4	1.11	0.3700
Época * Punto	7	1.14	0.3670

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.1.7 Sólidos suspendidos totales

El valor promedio más alto se presentó en el punto Santa Rosa con 223 mg/l y el más bajo en el Puente Santa Clara con 158 mg/l (Figura 7), esto se debe a que en La Montaña el agua fluye con velocidades muy bajas, lo que tiende a mantener los sólidos en suspensión por más tiempo, mientras que en Santa Clara fue el punto que mayores velocidades presentó en el flujo de agua.

Todos los puntos se clasifican en la Clase 3 ya que los valores promedios son superiores a 75 mg/l e inferiores a 340 mg/l. Según Echeverría (2000) aguas con valores de 25 mg/l o menos son clasificadas como Clase 1, entre 25 y 75 mg/l, Clase 2, entre 75 y 340 mg/l Clase 3 y mayores a 340 mg/l Clase 4.

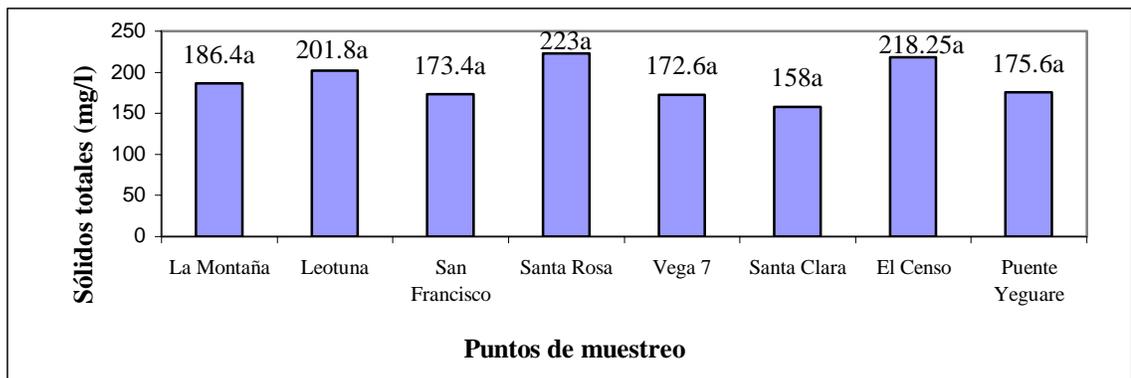


Figura 7. Promedios de sólidos totales para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales.

El valor promedio de SST para el periodo de estudio fue de 185.42 mg/l, mientras que los valores promedio para verano e invierno fueron 173.52 mg/l y 198.71 mg/l respectivamente. Esto indica un ligero aumento en los sólidos disueltos en invierno producto del efecto erosivo de las lluvias. Estadísticamente no se encontró diferencia en las covariables analizadas (Cuadro 8), esto se debe a que existe flujo de agua continuo durante todo el año que moviliza los sólidos en todos los puntos. En general se presentó una alta variabilidad de los datos (CV = 38.5).

Cuadro 8. Análisis de varianza para los valores de sólidos disueltos totales, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	0.36	0.8126 ¹
Época	1	1.598	0.2905
Repetición	4	2.137	0.1040
Época * Punto	7	0.983	0.4620

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.2 CUANTIFICACIÓN DE NUTRIENTES

4.2.1 Nitratos

El mayor valor promedio de nitratos encontró en el Puente Yeguaré con 0.32 mg/l (Figura 8). Esto se debe que este punto está cercano a fuentes de contaminación por fertilizantes nitrogenados como las meloneras y cañeras, además está en la parte más baja de la cuenca y recibe residuos de fertilizantes de zonas agrícolas del Valle del Yeguaré y de la parte alta. Sin embargo, las cantidades encontradas no representan ningún peligro para la salud del río.

Se encontró que todos los puntos de muestreo cumplen con la norma de agua de Honduras para cuerpos naturales, que establece que valores mayores a 50 mg/l de Nitratos pueden causar problemas de mortalidad en peces y otros organismos acuáticos (CESCCO 2004).

Según Poch (1999) todos los puntos se clasifican en la Clase 1. Aguas con concentraciones de nitratos de 25 mg/l se clasifican en la Clase 1, entre 25 y 50 mg/l en Clases 2 y 3 y las de 50 a 100 mg/l o más en Clase 4.

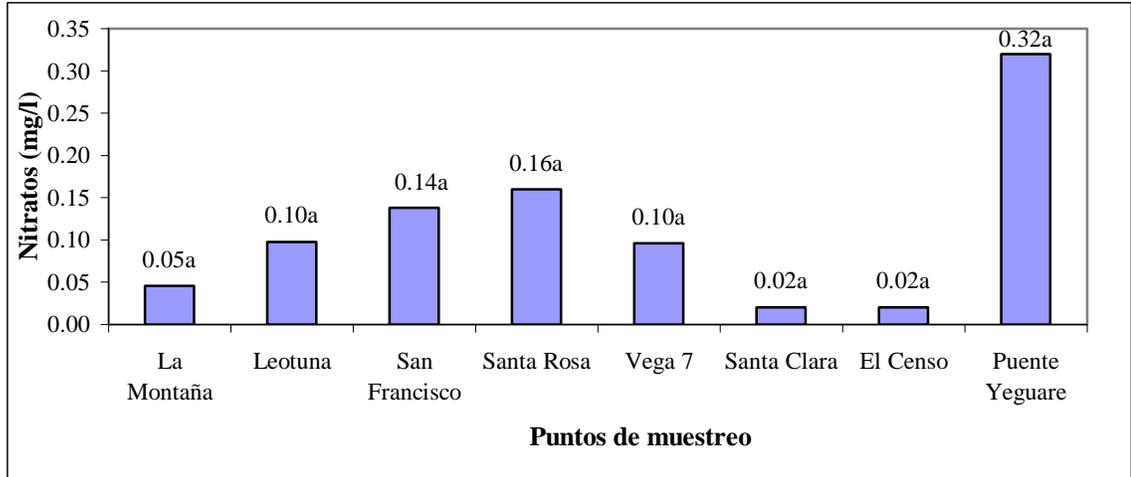


Figura 8. Promedios de nitratos para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales

El promedio de nitratos fue de 0.12 mg/l y los valores promedios en la época de verano e invierno fueron 0.11 mg/l y 0.13 mg/l respectivamente. No hubo diferencia significativa para ninguna de las covariables e interacciones (Cuadro 9). Se presentó una variabilidad de los datos alta (CV = 158.6).

Cuadro 9. Análisis de varianza para los valores de nitratos, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	1.34	0.2654 ¹
Época	1	0.08	0.7793
Repetición	4	5.19	0.0030
Época * Punto	7	0.71	0.6670

¹Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.2.2 Nitritos

El promedio de nitritos fue de 0.032 mg/l, los valores promedios para verano e invierno fueron 0.03 y 0.03 mg/l respectivamente. Estos son valores muy bajos comparados con la norma de agua en Honduras para cuerpos naturales, la cual establece que valores arriba de 3 mg/l de nitritos pueden causar la muerte de organismos acuáticos (CESCCO 2004).

Debido a la peligrosidad de este parámetro algunos autores como Poch (1999) usan rangos estrictos. Valores menores a 0.01 mg/l se clasifican en la Clase 1, menores a 0.03 mg/l en la Clase 2, menores a 1 mg/l en la Clase 3 y mayores a 2 mg/l en la Clase 4.

Según esta caracterización, todos los puntos se encontraron en niveles aceptables (Figura 9).

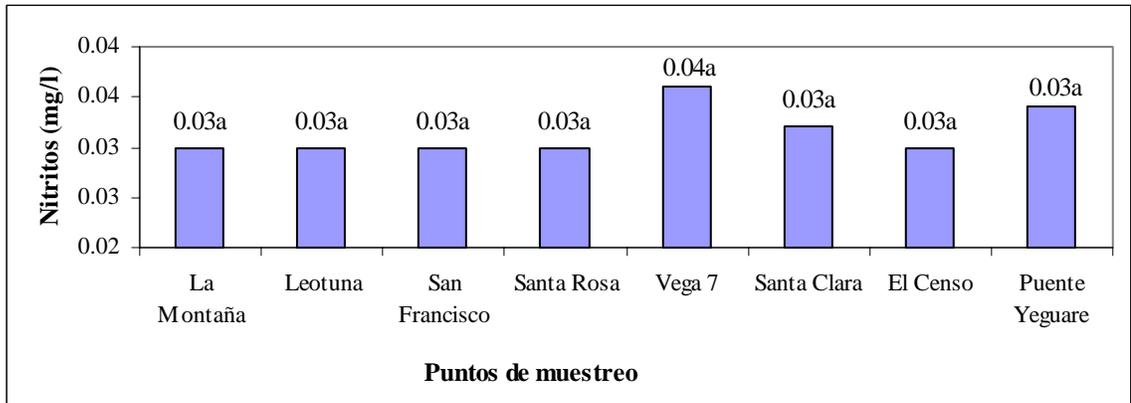


Figura 9. Promedios de nitritos para el periodo de estudio para ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales

Este parámetro no resultó significativamente diferente entre puntos de muestreo, en la clasificación por época, repetición e interacción época * punto tampoco presentó diferencias (Cuadro 10). Se presentó una variabilidad baja en los datos baja (CV = 21).

Cuadro 10. Análisis de varianza para los valores de nitritos, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	1.93	0.0990 ¹
Época	1	1.31	0.2612
Repetición	3	0.32	0.8140
Época * Punto	7	0.41	0.6690

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

4.2.3 Ortofosfatos

El valor mayor para este parámetro se presentó en La Vega 7 de Zamorano con 0.12 mg/l (Figura 10), las causas posibles son los lixiviados de fertilizantes fosforados de actividades agrícolas que se realizan en los alrededores; que aunque no de una forma significativa generan impacto en las aguas del río. El valor mínimo se encontró en el punto La Montaña, debido a poca actividad agrícola en la subcuenca. Todos los puntos se encontraron en un rango normal según la norma de aguas de Honduras para cuerpos naturales que establece un valor máximo permisible de 3 mg/l.

Según Poch (1999) todos los puntos se clasifican en la Categoría 1 ya que presentaron valores inferiores a 0.4 mg/l.

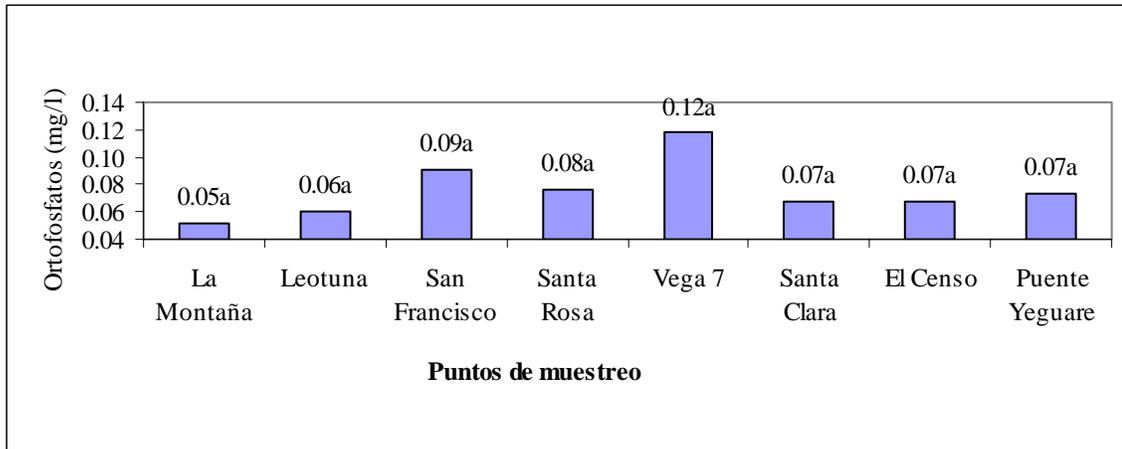


Figura 10. Promedios de ortofosfatos para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales

El valor promedio para el periodo de estudio del parámetro ortofosfatos fue 0.075 mg/l, los valores promedios de verano e invierno fueron 0.07 y 0.08 mg/l respectivamente, se presentó un ligero aumento en invierno, sin embargo, no fue estadísticamente significativo.

Entre puntos, muestreo e interacción época* punto tampoco se presentaron diferencias (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para los valores de nitritos, medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	1.41	0.2380 ¹
Época	1	0.06	0.8060
Repetición	4	0.84	0.5110
Época * Punto	7	1.18	0.3400

¹Valores < 0.05 son significativos.

4.3 CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

4.3.1 Coliformes totales y termotolerantes

Para el análisis de esta variable se realizaron solamente 2 muestreos por lo tanto no se realizaron pruebas estadísticas. Los valores de coliformes totales fueron extremadamente grandes para la mayoría de los puntos de muestreo, el punto que presentó la mayor cantidad de coliformes totales fue el punto localizado en la aldea San Francisco. Este es el lugar con mayor cantidad de asentamientos humanos próximos al río, por lo tanto el vertido de aguas negras es un de las causas de la gran cantidad de coliformes (Figura 11), los valores de caudal son bajos, por lo tanto hay baja capacidad de autodepuración del río. El punto que salió menos contaminado es El Censo, se debe a que el río es muy caudaloso y son pocos los asentamientos humanos. (Anexo 6).

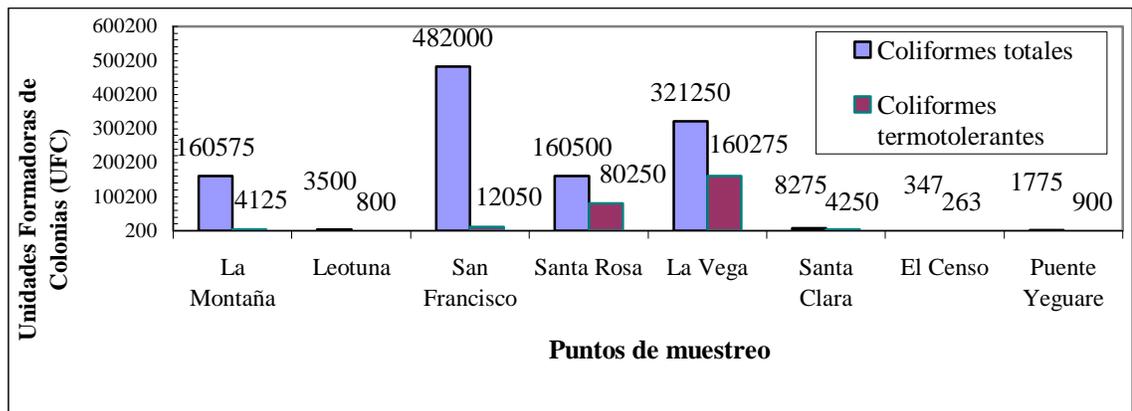


Figura 11. Valores promedio de Coliformes totales y termotolerantes en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

4.4 AGRUPACIÓN DE PARÁMETROS Y MEDICIÓN DE INDICADORES

Según el indicador de contaminación por materia orgánica, el punto que está menos contaminado es El Puente Yeguaré (clase 2), esto se debe a las grandes cantidades de agua que circulan en este lugar y el agua se autopurifica por el recorrido; el punto más contaminado es San Francisco, clasificado como clase 4.

Según el indicador de contaminación por mineralización el punto que se encuentra menos contaminado es La Montaña (Clase 1) y el más contaminado El Censo (Clase 3). Por el índice de contaminación de materia en suspensión el más contaminado es Santa Rosa (Clase 3) y el menos contaminado es Santa Clara (Clase 3), el comportamiento de este indicador es similar para todos los puntos, todos se clasifican en la Clase 3 (Cuadro 13).

Cuadro 12. Índices de contaminación en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Puntos	ICOMO ¹	ICOMI ²	ICOSUS ³	ICOTRO (mg/l) ⁴	Clase
La Montaña	9.91	0.21	0.55	0.05	4 ⁵
Leotuna	0.37	0.31	0.59	0.06	3
San Francisco	30.99	0.28	0.51	0.09	4
Santa Rosa	10.08	0.26	0.66	0.08	4
La Vega	18.33	0.30	0.51	0.12	4
Santa Clara	0.69	0.32	0.46	0.07	4
El Censo	1.12	0.73	0.64	0.07	4
Puente Yeguaré	0.32	0.72	0.52	0.07	3

¹ICOMO Índice de contaminación por materia orgánica

²ICOMI Índice de contaminación por mineralización

³ICOSUS Índice de contaminación por sólidos en suspensión

⁴ICOTRO Índice de contaminación por eutricación.

⁵El indicador mayor determina la clasificación general del río.

Cuadro 13. Clasificación de calidades del agua de ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré de acuerdo a cuatro índices de contaminación, Zamorano, 2004.

Punto	ICOMO ¹	ICOMI ²	ICOSUS ³	ICOTRO (mg/l) ⁴	Clase
La Montaña	4 ²	1	3	1	4 ⁵
Leotuna	3	1	3	1	3
San Francisco	4	1	3	1	4
Santa Rosa	4	1	3	1	4
La Vega	4	1	3	1	4
Santa Clara	4	1	3	1	4
El Censo	4	3	3	1	4
Puente Yeguaré	2	3	3	1	3

¹ICOMO Índice de contaminación por materia orgánica

²ICOMI Índice de contaminación por mineralización

³ICOSUS Índice de contaminación por sólidos en suspensión

⁴ICOTRO Índice de contaminación por eutricación.

⁵ El índice general lo determina el índice de mayor valor

4.5 USOS DE AGUA RECOMENDADOS

Según Poch (1999) al evaluar todos los índices, los puntos analizados reúnen los requisitos para un uso mínimo como ser: Regadíos muy poco exigentes y usos industriales poco exigentes. Todos los puntos corresponden a la Clase 4 a excepción de Leotuna y Puente Yeguaré, que son aptos para algunos usos restringidos como ser: Potabilización pero con tratamientos avanzados, posible vida piscícola de especies muy

resistentes, regadíos poco exigentes y usos industriales poco exigentes, considerados en la Categoría 3 o de mejor calidad entre los puntos analizados. (Cuadro 13).

Cuadro 14. Calidades de agua y usos recomendados.

Clase	Uso
1	Todos los usos exigentes: Fácil Potabilización; vida piscícola exigente; posibles zonas de baño; regadíos exigentes, especial interés ecológico.
2	Amplios usos, con precauciones: Potabilización con tratamientos intermedios; vida piscícola no tan exigente; algunas zonas de baño muy localizadas; regadíos no tan exigentes; usos industriales menos exigentes
3	Usos restringidos: Potabilización pero con tratamientos avanzados; posible vida piscícola de especies muy resistentes; regadíos poco exigentes; usos industriales poco exigentes.
4	Usos mínimos: Regadíos muy poco exigentes; usos industriales muy poco exigentes.

Fuente: Poch 1999.

4.6 MEDICIÓN DE CANTIDAD DE AGUA

Caudal

El punto que presentó el mayor caudal para el periodo de estudio fue el Puente Yeguaré con $0.88 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el valor mas bajo se presentó en Santa Rosa con $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$. En el Río Leotuna y Santa Rosa se observan dos caídas que se salen un poco de la tendencia, esto se debe al mayor uso del agua para riego que se hace en esos dos lugares. (Figura 12).

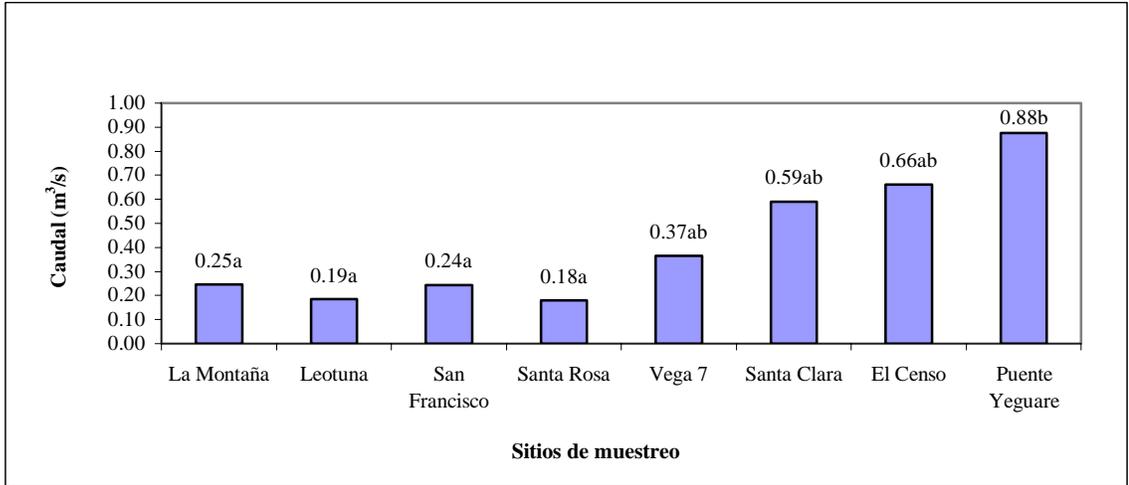


Figura 12. Promedios de caudal para el periodo de estudio en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

a Medias con la misma letra son iguales

El valor promedio para el periodo de estudio de caudal para los 8 puntos de muestreo fue de $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que da un estimado de $13,245,120 \text{ m}^3$ para el periodo de estudio. Los valores promedios de verano e invierno fueron 0.38 y $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, lo que representa un incremento de 16%, este incremento fue estadísticamente significativo.

Entre puntos y en la interacción época * punto también se presentaron diferencias significativas, sin embargo entre muestreos no se presentó diferencia (Cuadro 15). Los datos presentaron una variabilidad alta ($CV = 77.42$).

Cuadro 15. Análisis de varianza para los valores de caudal medidos en ocho puntos de muestreo en invierno y verano en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Fuente	DF	F value	Pr > F
Punto	7	5.12	0.0006^1
Época	1	4.187	0.0500
Repetición	4	1.457	0.2420
Época * Punto	7	5.509	0.0000

¹ Valores < 0.05 son altamente significativos.

Entre los meses que se realizaron los muestreos no hubo diferencias significativas, en la mayoría de los puntos muestreados se observó un ligero aumento en el mes de junio debido a las lluvias que cayeron a inicios de ese mes (Figura 13).

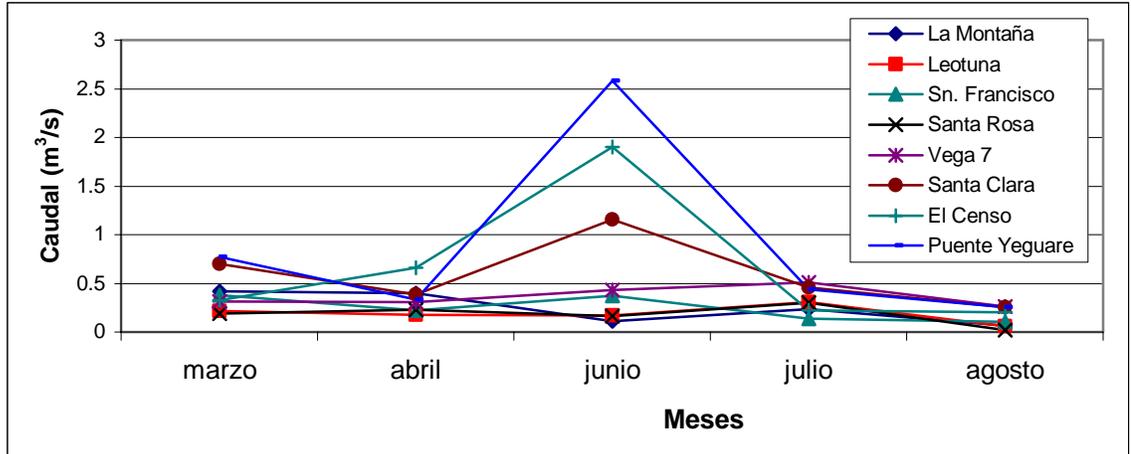


Figura 13. Valores de caudal observados en ocho sitios de la subcuenca del Río Yeguaré durante el periodo de muestreo, Zamorano, 2004.

4.7 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES REALES Y POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

4.7.1 Identificación de los puntos más vulnerables a contaminación mediante mapeo.

De acuerdo al análisis de la cobertura boscosa, los puntos con mayor potencial de deterioro de calidad del agua por los procesos erosivos debido a la falta de cobertura son: Santa Rosa, Puente Yeguaré y San Francisco (Anexo 5), sin embargo de acuerdo al análisis estadístico realizado a los parámetros relacionados con erosión (sólidos suspendidos totales y turbidez), todos los puntos están igual de deteriorados, esto indicó que los contaminantes una vez entrados al río se transportan a lo largo del mismo.

Los puntos que presentaron mayor potencial de contaminación por agricultura de acuerdo al mapeo fueron: Santa Clara, La Vega, Santa Rosa y en menor escala San Francisco, mientras que los puntos de mayor potencial de contaminación por asentamientos humanos fueron San Francisco seguido de La Montaña (Anexo 6); sin embargo, de acuerdo al análisis estadístico todos los puntos están sufriendo igual contaminación por nutrientes provenientes de actividades agrícolas y no es significativo, lo que indica que los nutrientes se quedan en el suelo, sin embargo los procesos erosivos sí son influenciados por las actividades agrícolas sin prácticas de conservación de suelos.

4.7.2 Fuentes de contaminación por agricultura y actividades pecuarias

Se presentó un alto porcentaje de áreas cultivadas mayores a diez manzanas, varias de estas fincas corresponden a la Compañía Azucarera Tres Valles, que tiene áreas de producción en varios lugares a lo largo del Valle del Yeguaré.

Los agroquímicos más utilizados en estas áreas de producción son los fertilizantes (Cuadro 16), por lo que se esperaría la contaminación de las aguas del río con nutrientes como nitrógeno y fósforo ya que la mayoría de productores (43%) utiliza una combinación de urea con fórmula (18-46-0) sin embargo los datos de laboratorio mostraron que no están ocurriendo procesos de contaminación significativos debido a nutrientes. Mientras que en las actividades pecuarias, el 63.6% de los encuestados tiene crianza de animales, la actividad productiva más importante es la crianza de aves de corral.

Cuadro 16. Áreas cultivadas, usos de agroquímicos y actividades pecuarias para una zona de amortiguamiento de un kilómetro alrededor del Río Yeguaré.

Área cultivada (manzanas)	%	Uso de agroquímicos	%	Actividades pecuarias	%
< 1	16.7	Fertilizantes	62.5	Aves	39.2
1 - 3	25.0	Fertilizantes y plaguicidas	8.3	Ganado	20.8
3 - 5	4.2	Fertilizante, plaguicida y herbicida	8.3	Cerdos	8.3
5 - 10	4.2	Plaguicidas	4.2		
> 10	66.6				

Los desechos producidos de las actividades pecuarias, de acuerdo a los encuestados están siendo manejados para evitar la contaminación del río ya que los pequeños productores, los que corresponden a un 25% no generan cantidades significativas y los productores medianos y grandes, que son un 25%, utilizan los desechos como fertilizantes o como alimento de ganado. Sin embargo el parámetro relacionado con esta fuente de contaminación (coliformes totales), fue el que estuvo más lejos de cumplir la norma de calidad de agua, sin embargo no se puede atribuir completamente a las actividades pecuarias, se presume que su origen es el depósito de desechos de hogares en las comunidades de Galeras y San Francisco.

4.8 ACTIVIDADES DE RESTAURACIÓN DEL BOSQUE RIBEREÑO

Los resultados de la encuesta realizada mostraron que existe voluntad por parte de las comunidades que viven en la cercanía del Río Yeguaré a colaborar con actividades de restauración de las riveras del río. De los encuestados el 100% manifestó estar en disposición para colaborar con cualquier proyecto que inicie actividades de restauración. En cuanto a preferencias por especies, para la mayoría fue indiferente el tipo de especie, en segundo lugar mostraron preferencia por especies maderables, mientras la minoría se inclinó por especies frutales (Cuadro 17).

Cuadro 17. Especies de preferencia para la restauración de las riveras del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Tipo de especie	Frecuencia	%
Maderables	6	25.0
Frutales	3	12.5
Cualquier otro tipo	15	62.5
Total	24	100.0

5 CONCLUSIONES

Una forma de cuantificar la calidad del agua en cuerpos naturales es mediante los análisis de parámetros físico químicos y bacteriológicos. Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que el Río Yeguaré se encuentra contaminado, los parámetros que mejor explicaron esta afirmación fueron los bacteriológicos, determinados mediante la cuantificación de coliformes totales, mientras que en el análisis de los parámetros físico químicos, los que reflejaron mayor contaminación fueron turbidez y sólidos suspendidos totales.

La calidad de agua fue diferente entre épocas (verano comparado con invierno) y entre puntos de monitoreo. En invierno se presentó una disminución de la calidad producto de los efectos de la lluvia (procesos erosivos, acarreo de nutrientes y de materia orgánica e inorgánica desde la parte alta de la subcuenca), mientras que entre puntos de monitoreo la diferencia la determinaron, los cambios en cobertura, uso de la tierra, y asentamientos humanos.

Una manera simplificada de analizar la calidad de agua de un río es por medio de índices de contaminación (ICO). La aplicación de esta metodología dio como resultado la clasificación del Río Yeguaré en dos clases: Clase 3 y 4, en una escala de 1 a 4, en la que la Clase 1 es agua de buena calidad y Clase 4 es la más deteriorada. Esto indica que el Río Yeguaré ha sido expuesto a contaminación severa en los últimos años debido a la agricultura no sostenible en la zona y a la poca conciencia ambiental de los pobladores de la zona de influencia para minimizar los daños en el recurso.

Buscarle soluciones al problema de la contaminación de los cauces fluviales es más fácil si se conocen las causas de las que ésta proviene. En el caso del Río Yeguaré, éstas son los asentamientos humanos, debido a la deposición directa de aguas negras en el río y la percolación de fosas sépticas (según los parámetros bacteriológicos), de la misma forma las actividades agrícolas y pecuarias están afectando con procesos erosivos, acarreo de nutrientes y heces de ganado. Estas causas fueron identificadas en las partes del Valle del Yeguaré, en donde, por la misma naturaleza de los valles (tierras fértiles y con mejor acceso), sobresalen los asentamientos humanos y las actividades agropecuarias.

La cuantificación de la cantidad de agua en un río, permite hacer inferencia sobre la oferta del recurso y la capacidad de autodepuración (descontaminación) del mismo. En el estudio se encontraron flujos promedios de $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que da un estimado de $13,245,120 \text{ m}^3$ anuales. Esto afirma que ante la escasez del recurso, este río es una alternativa para suplir la demanda en la zona, en usos que aún pueden ser permitidos, como riego y actividades agroindustriales no tan exigentes.

6 RECOMENDACIONES

Siendo el Río Yeguaré una importante fuente de agua para la zona, y cuya calidad se encuentra muy deteriorada, se recomienda realizar medidas de prevención y mitigación a corto, mediano y largo plazo para conservar, restaurar la calidad de agua del río y mejorar las condiciones de vida de las personas de la zona de influencia.

En el corto plazo se recomienda la realización de brigadas de capacitación y concientización sobre el uso del agua, ya que en la actualidad se está haciendo un uso no adecuado de este recurso. Estas brigadas deben incluir los siguientes temas: tratamiento de agua de manera fácil y a bajo costo (filtrado y cloración) y la importancia de los requisitos mínimos de calidad según el uso, enfatizando en los problemas para la salud que puede provocar el uso de agua de mala calidad y sin ningún tratamiento.

En el mediano plazo se propone la delimitación de zonas de amortiguamiento, y la protección de las mismas, mediante brigadas de reforestación con la participación de las comunidades de la zona, utilizando especies que puedan ser una alternativa para la generación de ingresos.

Tomando en cuenta que el establecimiento de una zona de amortiguamiento completamente libre de asentamientos humanos y de actividades agrícolas no es posible, dada la presión por la tierra de las personas pobres que habitan en la zona, se deben realizar actividades de concientización y capacitación con las comunidades y las unidades agrícolas y pecuarias que queden inmersas en esta zona, haciendo énfasis en prácticas para la disminución de la contaminación, tales como buen manejo de la basura y de los desechos provenientes de actividades agropecuarias.

La sostenibilidad del recurso a través del tiempo es muy importante, en este sentido se recomienda hacer un estudio para determinar la demanda de agua a lo largo del río. Este ayudará a establecer un mecanismo de pago por el recurso, de esta forma se incentivará el uso eficiente del mismo y a la vez se generarán ingresos para proteger y restaurar el río, tomando en cuenta la potencial demanda que existe en la zona, sobre todo los grandes productores agrícolas y que son los que más están explotando el recurso.

En el largo plazo se recomienda el cambio de uso de la tierra en la zona de amortiguamiento. Una alternativa sostenible puede ser la sustitución de las áreas agrícolas de la misma por actividades turísticas, organizadas por las comunidades locales, las que pueden incluir turismo investigativo, turismo de aventura, e incluso agroturismo, mediante el ofrecimiento de giras a unidades agropecuarias bien manejadas que están fuera de la zona de impacto del río.

7 BIBLIOGRAFÍA

Aguamarket, 2004. Diccionario de indicadores de calidad de agua (en línea). Consultado 16 de agosto de 2004. Disponible en: <http://aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Temas=3197&termino=&Id=3197>

Cauvin, A., Didier, G. 1964. Distribución de agua en las Aglomeraciones. Ed. Reverté, Barcelona-Buenos Aires-México 461 p.

Branco, S. 1984 Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Universidad de Sao Paulo. Escola de Engenharia Mauá y Compañía de Tecnología de Saneamento Ambiental (CETESB), Sao Paulo, BR. 120 P.

Capa, L. 2003. Origen y tipo de contaminación de las aguas. Libro electrónico Ciencias de la Tierra y El Medio Ambiente (en línea). Consultado 19 julio de 2004. Disponible en <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>

Canales, G. 1999. Estudio base sobre la calidad de agua de dos subcuencas del Río Yeguaré. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. 53 p.

Castañeda, F. 2001. Conservación internacional Proyecto Petenero para un bosque sustentable 2001. Estudio de monitoreo de la calidad de agua del parque nacional Laguna del Tigre, San Andrés, Peten Guatemala (en línea). Consultado 18 Enero 2004. Disponible en: <http://www.propeten.org/documentos/estudiodelagua.pdf>

CEPIS, 2002. Biblioteca virtual de calidad de agua. Diplomado de recursos hídricos, Zamorano.

Echeverría, L. 2000. La calidad del agua en la planificación de cuencas hidrográficas, Cali, Colombia (en línea). Consultado 12 de agosto de 2004. Disponible en: http://www.congresocuencas.org.pe/pdf/PONENCIAS/5%20Tema/5d_MANEJO%20DE%20LA%20AGUA/14.%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EN%20LA%20PLANIFICACION%20DE%20LAS%20CUENCAS%20HIDROGRAFICAS.pdf

FAO, 1996. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Santiago, Chile. 321 p.

Giraldez, G. s.f. Evaluación de compuestos de fósforo en el agua. (en línea). Consultado 3 de septiembre de 2004. Disponible en: http://www.uhu.es/inmaculada_giraldez/apuntes/tema%2015/Fosforo.doc.

Instituto nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2003. Carga Contaminante en cuencas hidrográficas (en línea). Consultado 13 de enero de 2004. Disponible en: <http://www.hidro.cu/calidad.htm#focos1>

Lennetch, 2004. Glosario de calidad de agua. (en línea). Consultado 16 de agosto de 2004. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/glosario-agua.htm#T>

Macdonald, L. 1991. Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. Environmental Protection Agency, Seattle, Washington_ CSS/EPA. 166p.

MacDonald, L. 1994. Watershed Measurements. Department of Earth Resources Colorado State University. 118 p.

Orellana, A. 2003. Línea base de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso, Honduras. Tesis para optar por el grado de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Escuela Agrícola Panamericana – Zamorano, Honduras. 77 p.

Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS. Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable. Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua CTN-CALAGUA-CAPRE, Tegucigalpa, M.D.C., HN.42 p.

Poch, M. 1999. Las calidades del agua, Cuadernos de Medio Ambiente, Rubes Editorial, Barcelona ESP. 159 p.

Sabio, I. 2000. Evaluación de la calidad y cantidad de agua de la microcuenca El Capiro en Güinope. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. 38 p.

Universidad de Navarra, 2004. Contaminación de lagos y ríos Escuela Superior de Ingenieros Industriales (en línea), Consultado 12 de julio de 2004. Disponible en: <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgua/ICG>

Vargas, C. 1996. La perspectiva del manejo de cuencas. IN. Utilización y manejo sostenible de los recursos hídricos. Ed. Por Jenny Reynolds Vargas. Heredia, C.R. Editorial Fundación UNA. P. 201-210.

Vega, J. 2000. Evaluación de la calidad, cantidad y fuentes de contaminación del agua en la microcuenca El Zapotillo. Tesis Ing. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. 45 p.

8 ANEXOS

Anexo 1. Área (hectáreas) de los municipios que forman la subcuenca del Río Yeguaré

Municipio	Área en la subcuenca (Ha)	%
Yuscarán	3379.70	10.18
Güinope	7353.85	36.63
Morocelí	1443.37	3.98
Distrito Central	3809.07	2.54
Maraita	3919.00	14.89
San Antonio de Oriente	20186.39	95.57
Santa Lucia	3064.00	52.95
Tatumbla	3484.60	44.23
Valle de Angeles	5723.33	54.02
	52,363	100.00

Anexo 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la subcuenca del río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Punto	Nombre	Ubicación geográfica(UTM)	Altura	Pendiente
1	La Montaña	502650, 1539039	900 m	> 5 %
2	Río Leotuna	501686, 1539785	820 m	< 3 %
3	Valle San Francisco	501259, 1543511	780 m	< 3 %
4	Puente Santa Rosa	501430, 1545096	778 m	< 3 %
5	Vega 7	501497, 1547442	775 m	< 3 %
6	Puente Santa Clara	502007, 1548540	758 m	< 3 %
7	El Censo	509274, 1553523	639 m	< 3 %
8	Puente Yeguaré	513379, 1554688	700 m	< 3 %

Anexo 3. Clasificación de la calidad de aguas fluviales de acuerdo a varios parámetros.

	Cond	Dureza	Col tot	Fosfatos	NO ₂	OD	SST	Temp
Clase 1	150	55	500	0.4	0.01	7.1	25	21.5
Clase 2	200	100	1000	0.7	0.03	6.7	75	25
Clase 3	270	200	20000	0.7	1	3	340	25
Clase 4	>270	>200	>20000	20.0	2	2	>340	30

Fuente: Poch, 1999 y Echevarria, 2000

Cond = Conductividad

Col tot = coliformes totales

NO₂ = Nitritos

OD = Oxígeno disuelto

SST = Sólidos suspendidos totales

Temp = Temperatura

Anexo 4. Datos promedios de coliformes totales y termotolerantes en ocho puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Punto	coliformes totales	coliformes termotolerantes
La Montaña	160575	4125
Leotuna	3500	800
San Francisco	482000	12050
Santa Rosa	160500	80250
La Vega	321250	160275
Santa Clara	8275	4250
El Censo	347	263
Puente Yeguaré	1775	900

Anexo 5 Tipo de cobertura y longitud de secciones entre puntos de muestreo en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Punto	Tipo de cobertura	Área (Ha)	%	Longitud del cauce Km.
La Montaña	Bosque coníferas denso	384.28	54.52	6.83
	Bosque coníferas ralo	234.98	33.33	
	Tierras sin bosque	85.65	12.15	
Leotuna	Bosque de coníferas denso	383.29	52.61	7.67
	Bosque de coníferas ralo	186.91	25.66	
	Tierras sin bosque	158.30	21.73	

San Francisco	Bosque de coníferas denso	55.67	10.84	4.69
	Bosque de coníferas ralo	5.60	1.09	
	Tierras sin bosque	452.10	88.07	
Santa Rosa	Tierras sin bosque	271.85	100.00	2.28
La Vega	Tierras sin bosque	361.41	36.85	3.19
	Bosque de coníferas denso	384.28	39.19	
	Bosque de coníferas ralo	234.98	23.96	
Santa Clara	Tierras sin bosque	231.68	100.00	1.74
El Censo	Tierras sin bosque	457.86	32.19	16.98
	Bosque de coníferas ralo	964.47	67.80	
	Bosque de coníferas denso	0.13	0.01	
Puente Yeguaré	Tierras sin bosque	686.10	97.65	7.38
	Bosque de coníferas ralo	16.54	2.35	

Fuente: USIG, Zamorano y el autor

Anexo 6. Usos de suelo y asentamientos humanos en la subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

Punto	Uso	Área (Ha)	%	Asentamientos
La Montaña	Bosque Productor (pino)	659.74	93.59	58
	Cultivo intensivo y extensivo	45.17	6.41	
Leotuna	Bosque Productor (pino)	491.82	67.51	32
	Cultivo intensivo y extensivo	236.68	32.49	
San Francisco	Bosque Productor (pino)	97.05	19.04	61
	Cultivo intensivo y extensivo	412.63	80.96	

Santa Rosa	extensivo Cultivo intensivo y extensivo	271.85	100.00	13
La Vega	extensivo Cultivo intensivo y extensivo	361.41	100.00	16
Santa Clara	extensivo Cultivo intensivo y extensivo	231.68	100.00	18
El Censo	Bosque Productor (pino) Cultivo intensivo y extensivo	1130.16 292.29	79.45 20.55	17
Puente Yeguaré	Bosque Productor (pino) Cultivo intensivo y extensivo	353.77 348.87	50.35 49.65	6

Fuente: USIG, Zamorano.

Anexo 7. Índices de calidad calculados a partir de la norma de calidad de agua

Clase	ICOMO ¹	ICOMI ²	ICOSUS ³	ICOTRO (mg/l) ⁴
1	0.08	0.42	0.07	0.40
2	0.10	0.62	0.22	0.70
3	0.55	1.00	1.00	0.70
4	>1	>1	>1	20.00

¹ Índice de contaminación por materia orgánica

² Índice de contaminación por mineralización

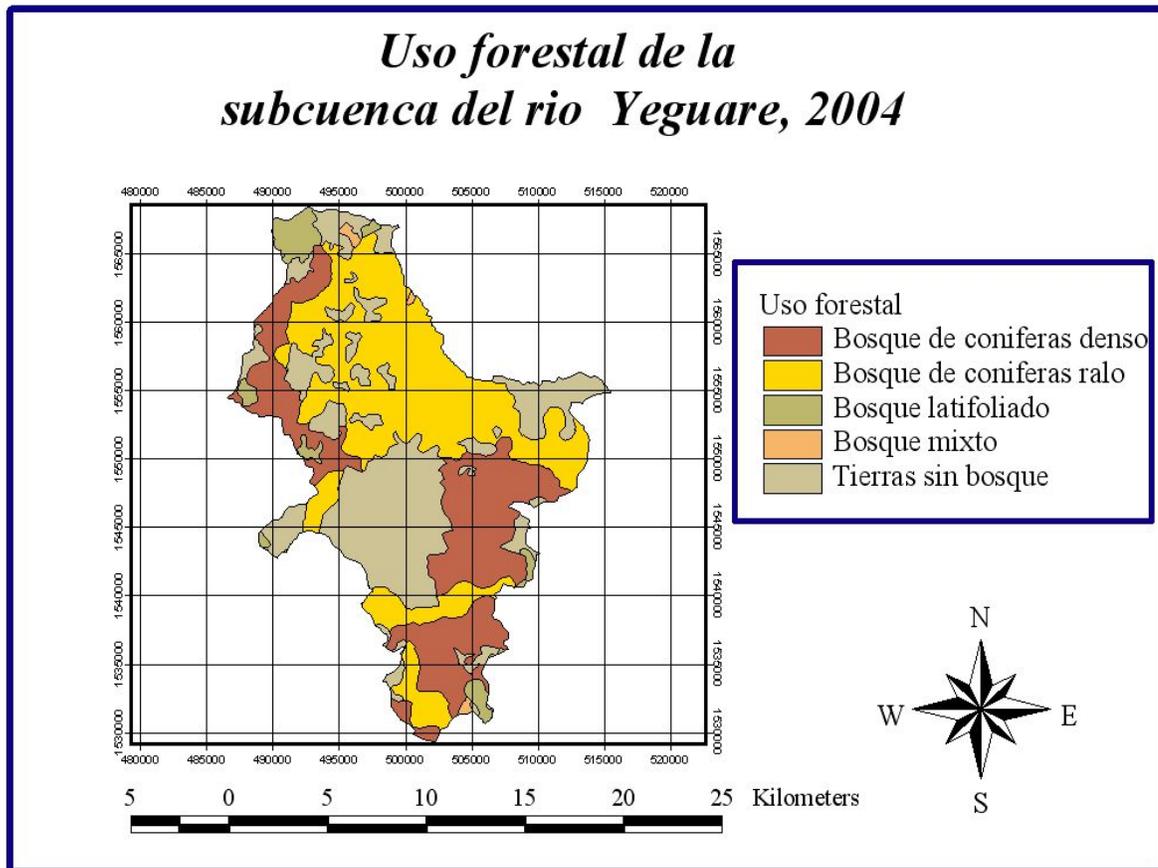
³ Índice de contaminación por sólidos suspendidos

⁴ Índice de Contaminación por eutroficación

Anexo 8. Bosque de galería para un areaa buffer de un kilómetro, subcuenca del Río Yeguaré, Zamorano, 2004.

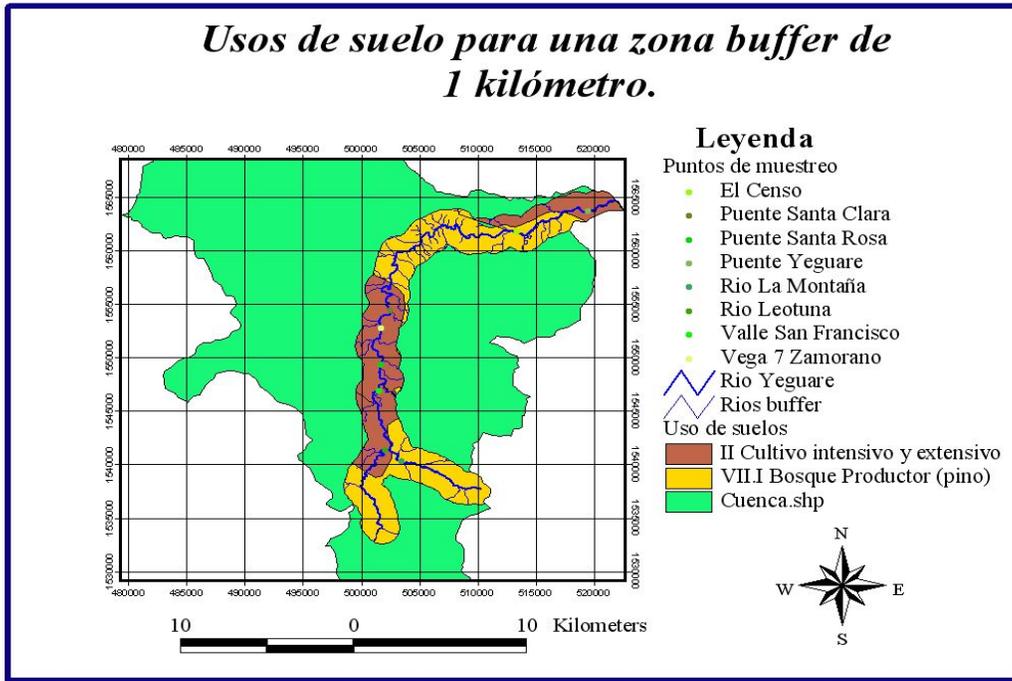
Cuenca	Hectáreas	%
Tierras sin bosque	751.20	52.90
Bosque de coníferas denso	228.48	16.09
Bosque de coníferas ralo	440.41	31.01
TOTAL	1420.10	100

Fuente: Unidad SIG, Zamorano

Anexo 9. Cobertura de la cuenca Yeguaré.

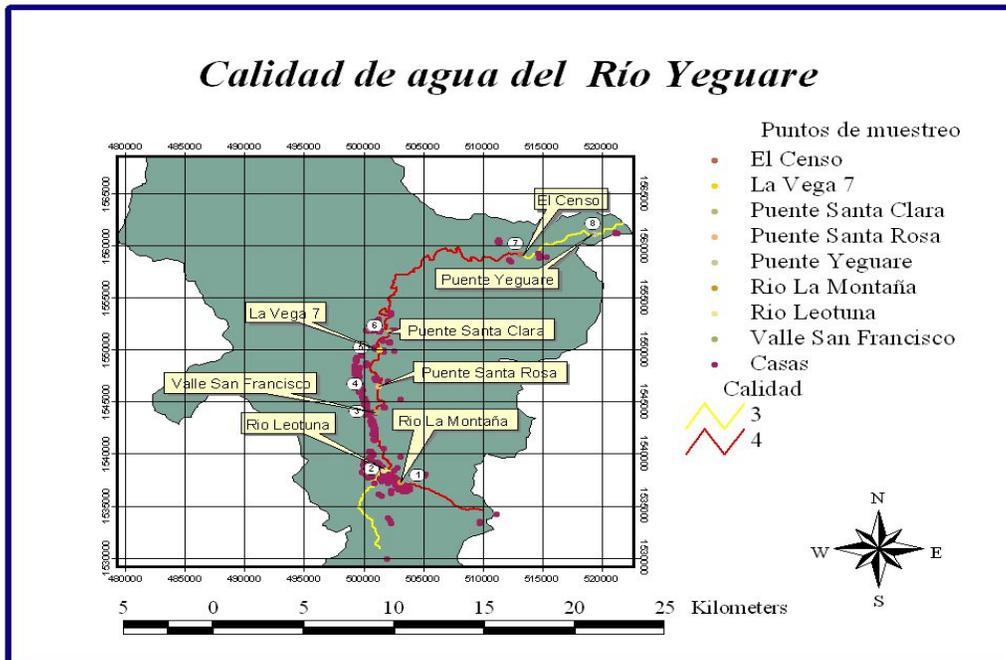
Fuente: USIG, Zamorano.

Anexo 10. Usos de suelos para el área buffer estudiada en el Río Yeguaré.



Fuente: USIG- Zamorano.

Anexo 11. Calidad del agua en el Río Yeguaré.



Fuente: USIG- Zamorano y el autor

Anexo 12. Encuesta aplicada a productores de la zona de influencia del Río Yeguaré

Nombre _____

Comunidad _____

Fecha _____

Encuestador _____

1. ¿Qué tipos de cultivo siembra?

Cultivo	Época de siembra	Área (mz)				Frecuencia de aplicación	Forma de aplicación
			Tipo	Cantidad	Producto		

2. ¿Que problemas de plagas y/o enfermedades tiene usted con sus cultivos?

3. ¿Que productos aplica?

4. ¿De donde toma el agua para la preparación de mezclas?

- a. Río _____
- b. Pozo _____
- c. Quebrada _____
- d. Otros _____

5. ¿Donde realiza la limpieza del equipo de aplicación?

6. ¿Realiza practicas de conservación de suelos en su terreno?

SI _____ NO _____

7. Si la respuesta es sí, ¿de qué tipo?

- a) Barreras vivas _____
- b) Terrazas _____
- c) Cultivos de cobertura _____
- d) Barreras muertas _____
- e) Curvas a nivel _____

8.- ¿Se dedica usted a la crianza de animales?

SI _____ NO _____

9. Si la respuesta es sí, ¿de que tipo?

- a. Ganado _____ d. Pollos _____
b. Cabras _____ e. Otros _____
c. Cerdos _____

10. ¿Tiene acceso a letrina o servicios sanitarios?

SI _____ NO _____

11. ¿De donde obtiene el agua para consumo?

- a. Agua potable _____ c. Pozo de su propiedad _____
b. Pozo cercano _____ d. Otro _____

12. ¿Tiene riego en su finca?

SI _____ NO _____

13. ¿De donde obtiene el agua para riego?

- a. Río _____ c. Quebrada _____
b. Pozo _____ d. Otros _____

14. ¿A que distancia esta su finca de la fuente de agua? _____

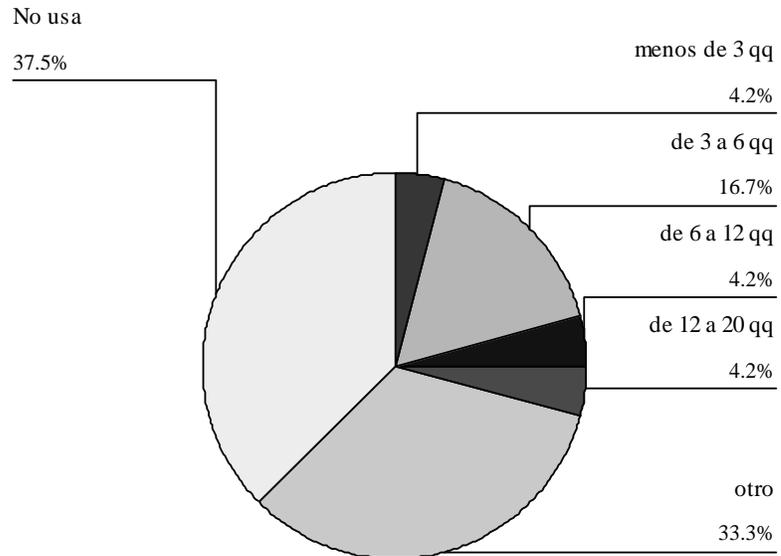
15. ¿Considera que las actividades realizadas en su finca generan impacto aguas abajo?

SI _____ NO _____

¿Por qué?

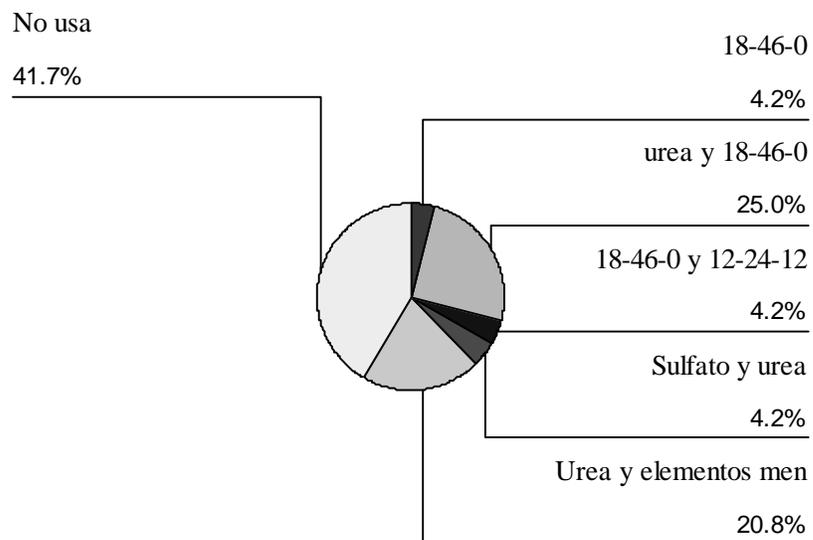
Anexo 13. Uso de fertilizantes

Cantidad del producto fertilizante



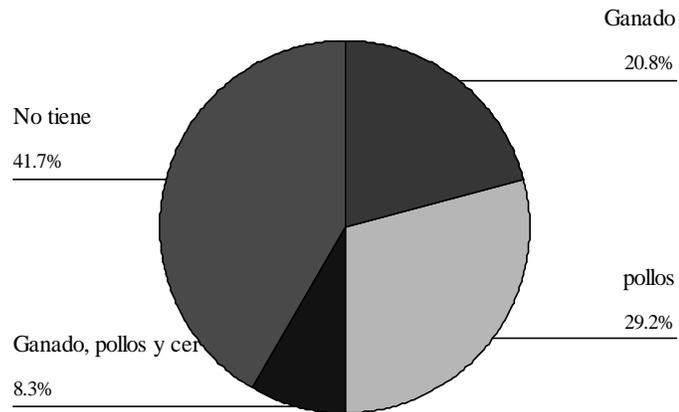
Anexo 14 Fertilizantes más utilizados

Nombre del producto fertilizante



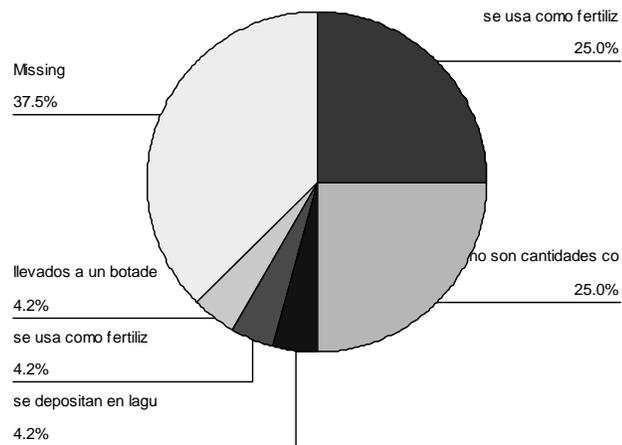
Anexo 15. Actividades pecuarias en la zona de influencia

CRIANZA DE ANIMALES



Anexo 16. Deposición de desechos de actividades pecuarias

Que hace con los desechos producidos



Anexo 17. Distanciamiento de las fincas de producción hacia el río

Distanciamiento entre las fincas y el río

