



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PSICOLOGIA

ALTERACIONES COGNOSCITIVAS ASOCIADAS A EXPOSICIÓN
A MANGANESO EN NIÑOS RESIDENTES DE UN DISTRITO
MANGANESÍFERO DEL ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN PSICOLOGIA

P R E S E N T A:

RUBÉN TORRES AGUSTÍN

JURADO DE EXAMEN

TUTOR: LIC. JAVIER RIVERA CONTRERAS
COMITÉ: DRA. YANETH RODRÍGUEZ AGUDELO
BIOL. JOSÉ FERNANDO LÓPEZ SÁNCHEZ
MTRO. JOSÉ ALBERTO MONROY ROMERO
MTRA. CELIA PALACIOS SUÁREZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. INFANCIA INTERMEDIA Y DESARROLLO COGNITIVO	5
ASPECTOS GENERALES DEL DESARROLLO COGNITIVO	5
PROCESOS COGNOSCITIVOS	9
Atención	10
Aprendizaje	11
Memoria	12
Procesamiento de Información	15
Funciones ejecutivas	17
Lenguaje	18
Inteligencia	19
ASPECTOS NEUROPSICOLÓGICOS DEL DESARROLLO COGNITIVO	20
Funciones gnósicas y prácticas	21
Función atencional y sistema supervisor frontal	22
Funciones de Memoria	23
Funciones lingüísticas	24
MANGANESO	29
Generalidades	29
Fuentes de obtención	30
Fuentes de exposición	31
Límites de exposición	32

NEUROTOXICIDAD POR MANGANESO	35
<i>Neurotoxicidad por Mn en adultos</i>	<i>35</i>
<i>Neurotoxicidad por Mn en niños.....</i>	<i>37</i>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	38
OBJETIVOS	39
2. MÉTODO	40
<i>HIPÓTESIS.....</i>	<i>40</i>
<i>VARIABLES</i>	<i>40</i>
<i>PARTICIPANTES.....</i>	<i>41</i>
<i>INSTRUMENTOS</i>	<i>42</i>
<i>Escala Wechsler de Inteligencia Infantil (WISC).....</i>	<i>42</i>
<i>Prueba de Aprendizaje y Memoria Auditivo Verbal Infantil CAVLT.....</i>	<i>46</i>
<i>Concentraciones de Mn en sangre.....</i>	<i>49</i>
<i>Concentraciones de Mn en cabello.....</i>	<i>50</i>
<i>PROCEDIMIENTO.....</i>	<i>51</i>
<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</i>	<i>52</i>
3. RESULTADOS.....	53
<i>VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS.....</i>	<i>54</i>
<i>NIVELES DE LOS METALES.....</i>	<i>55</i>
<i>PUNTUACIONES DE LA ESCALA DE INTELIGENCIA WISC.....</i>	<i>57</i>
<i>PUNTUACIONES DE LA PRUEBA DE APRENDIZAJE Y MEMORIA VERBAL CAVLT.....</i>	<i>59</i>
<i>MODELO DE REGRESIÓN LINEAL PARA LOS PUNTAJES DEL CAVLT.....</i>	<i>64</i>
4. DISCUSIÓN	69
5. CONCLUSIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

RESUMEN

El manganeso (Mn) es un elemento traza esencial para los seres vivos entre ellos el ser humano, sin embargo si se está expuesto a grandes cantidades puede volverse un potente neurotóxico ocasionando daños en el organismo, principalmente en el Sistema Nervioso Central (SNC).

La sobreexposición a Mn en adultos se asocia con un trastorno neurológico similar a la Enfermedad de Parkinson. El daño más importante causado por Mn en adultos ocurre en los ganglios basales del SNC, el tiempo de latencia desde la exposición hasta la aparición de los síntomas puede ser de unos cuantos meses a uno o dos años.

Una población vulnerable a la sobre-exposición ambiental a Mn son los niños, quienes pueden correr un mayor riesgo de intoxicación dado que aún sus mecanismos para excretarlo de una manera eficiente son limitados, además de encontrarse en periodos críticos del desarrollo tanto físico como cognoscitivo.

Sobre los efectos de intoxicación por Mn relacionados con aspectos cognoscitivos en niños aún se desconoce bastante, y en población mexicana no existen precedentes hasta la fecha.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar aspectos cognoscitivos en niños de 7 a 11 años de edad pertenecientes a una comunidad dentro de un Distrito Manganesífero, al norte del estado de Hidalgo, los cuales se encuentran ambientalmente expuestos al metal. Asimismo se estimó la asociación entre los puntajes obtenidos en las pruebas con los niveles de Mn obtenidos de muestras de sangre y cabello de los niños.

En esta investigación se encontró una asociación significativa entre los niveles de Mn en el organismo de los niños y puntajes bajos obtenidos en tareas de tipo auditivo verbal y de funciones de memoria a corto plazo.

INTRODUCCIÓN

El Manganeseo (Mn) es un metal, un elemento traza esencial para la vida, que se encuentra en bajas cantidades en todas las dietas (Aschner, Guilarte, Schneider, & Zheng, 2007), pero en grandes cantidades puede volverse un potente neurotóxico (Keen, 2005).

La sobreexposición a Mn en adultos se asocia con alteraciones neuroconductuales y en su forma más severa por un trastorno neurológico discapacitante similar a la Enfermedad de Parkinson (Bouchard, 2005).

El efecto dañino más importante que causa el manganeseo documentado en adultos ocurre en los ganglios basales del SNC, después de la inhalación crónica de los polvos o humos de sus productos. El tiempo de latencia desde que ocurrió la exposición hasta la aparición de los síntomas puede ser de unos cuantos meses o con más frecuencia, de uno a dos años. Las manifestaciones clínicas del manganismo, son semejantes a la enfermedad de Parkinson (Montoya, 2002).

Una población vulnerable por exposición ambiental a Mn, de la que aún se desconoce bastante sobre sus efectos, son los niños, quienes pueden correr un mayor riesgo de intoxicación dados sus limitados mecanismos para excretarlo de una manera eficiente.

Las alteraciones neuropsicológicas presentadas en periodos del desarrollo pueden provocar déficits en distintos ámbitos en la vida de los niños, tales como retraso en la adquisición de habilidades cognitivas, dificultades de aprendizaje, retraso en la escuela e incluso abandono de ésta. Existen pocos trabajos en los que se hayan evaluado el efecto del Mn en población infantil y ninguno en países en desarrollo donde se encuentran este tipo de minas.

Los niveles de exposición y los riesgos encontrados en esta población pueden ayudar a establecer estrategias de intervención para la habilitación y rehabilitación, si fuera el caso, de procesos cognitivos que pudieran estar afectados por dicha exposición.

La literatura relacionada con funciones cognitivas de niños expuestos a Mn muestra un efecto negativo de la exposición crónica al metal sobre dichas funciones tales como las funciones Intelectuales (Wasserman et al., 2006). En un estudio realizado en Bangladesh (Wasserman et al., 2006), con niños con un rango de edad de 9.5 a 10.5 años (N=95) expuestos por ingesta a altas concentraciones de Mn en agua ($m=795\mu\text{g/L.}$) a quienes se les aplicó la Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños versión III (WISC-III) (Wechsler, 1991), mostró que los niveles de Mn en el agua que los niños consumían fue significativamente asociado con los puntajes bajos en la escala total del WISC III.

En otro estudio llevado a cabo en Estados Unidos (Wright, Amarasiriwardena, Woolf, Jim, & Bellinger, 2005) con niños de 11 a 13 años de edad (N=32) expuestos ambientalmente a arsénico (As), Mn y cadmio (Cd), a los cuales se les midieron los niveles de los metales en el cabello y se les aplicó una batería neuropsicológica dentro de la cual se encontraba el Test Infantil de Aprendizaje Verbal de California (CAVLT), para conocer la asociación entre las funciones neuropsicológicas y los niveles de los metales encontrados en el cabello de los niños. Los resultados mostraron que los niveles de As y Mn en combinación fueron asociados inversamente y de manera significativa ($p=0.03$) con los puntajes obtenidos de la evaluación del aprendizaje verbal y memoria.

El presente trabajo se deriva del proyecto “Exposición a manganeso en residentes de un distrito manganesífero (México)”, cuyo objetivo es determinar los factores ambientales y antropogénicos que establecen la exposición a Mn, así como diseñar e implementar un plan de manejo en colaboración con los actores sociales locales. Autoridades gubernamentales en conjunto con la población han estado buscando establecer los problemas de salud causados por la extracción de Mn. El objetivo de este trabajo fue evaluar las diferencias entre los resultados obtenidos de la prueba de Inteligencia WISC (Wechsler, 2004), y el Test de Aprendizaje y Memoria Verbal CAVLT (Talley, 1997), y establecer la asociación entre los resultados del Test de Aprendizaje y Memoria Verbal y los niveles de Mn en la sangre y cabello de niños de entre 7 y 11 años de edad.

Planteamiento del problema

El estado de Hidalgo, tiene uno de los depósitos más grandes de Mn de América Latina y del mundo; este depósito es de gran importancia porque es fundamental en la elaboración de acero y otros derivados metálicos. Este metal se ha estado extrayendo desde hace más de 40 años y se ha identificado que su producción genera impactos ambientales y a la salud.

Existen pocos trabajos en los que se haya evaluado el efecto del Mn, en población infantil, y ninguno en países en desarrollo donde se encuentran este tipo de minas, en donde los niveles de Mn son altos.

Durante la infancia existen periodos críticos durante los cuales es importante que ocurran ciertos hechos específicos, a fin de que el organismo pueda ascender a un nivel más alto del desarrollo (Lipsitt & Reese, 1985), es importante recordar que los factores físicos, cognoscitivos y psicosociales interactúan en el desarrollo individual (Graig, 1996).

En el caso de una sobreexposición ambiental a un metal, como es el Mn, es necesario valorar los efectos que éste haya podido inducir en aspectos tan importantes como el desarrollo de funciones cognoscitivas de los niños.

¿Existen diferencias entre las habilidades cognoscitivas de niños expuestos y no expuestos ambientalmente a Mn?

Si existen diferencias, ¿Estas tendrán alguna asociación con la exposición al metal, y de qué tipo?

1. INFANCIA INTERMEDIA Y DESARROLLO COGNITIVO

ASPECTOS GENERALES DEL DESARROLLO COGNITIVO

El campo del desarrollo humano, abordado desde un estudio científico formal se centra en los cambios que sufren las personas, así como las características que quedan inmutables durante toda la vida. La psicología demostró que las personas pueden tener una mejor comprensión de sí mismas, si se conocen los factores que han influido desde sus primeros años. (Papalia, 2001).

Los modelos actuales del desarrollo describen al niño como un participante activo, en la búsqueda de conocimiento y usando las experiencias pasadas para entender e integrar la información, y con esto poder ir desarrollando repertorios cada vez más sofisticados (Anderson, 2001).

La mayoría de las teorías del desarrollo concuerdan en que la edad no puede considerarse como una variable causal del desarrollo psicológico, es más viable una organización mediante etapas del desarrollo (Delval, 1994), por ejemplo, no se cree que el aumento en el repertorio del vocabulario aumente sólo por el aumento en la edad, sino que existe una acumulación de experiencia que va aumentando conforme el niño crece en edad (Lipsitt & Reese, 1985).

El desarrollo puede ser visto como una progresiva búsqueda de equilibrio, el desarrollo mental es una construcción continua, como construir un edificio que a cada elemento que se le añade, se hace más sólido, siendo preciso oponer desde el principio las estructuras que definen las formas o estados sucesivos de desarrollo, y un determinado funcionamiento constante que es el que asegura el paso de cualquier estadio al nivel siguiente (Delval, 1994). Cada uno de estos estadios está caracterizado por la aparición de estructuras originales, que por su constitución se distingue de los estadios anteriores.

Piaget, (1975) afirma que estas construcciones están sostenidas por los estadios anteriores en forma de subestructuras sobre las cuales surgirán otras nuevas. A continuación se describen las etapas Piagetianas del desarrollo cognitivo.

Etapas del desarrollo cognitivo de Piaget

Piaget (1982) describe estadios en el desarrollo que se pueden agrupar en tres grandes etapas:

Etapas Sensorio-Motriz

Comienza con el nacimiento a partir de los reflejos incondicionados, es inmediato, pues trata directamente con los objetos y su tendencia es el éxito de la acción. Esta etapa culmina alrededor de los dos años cuando aparece el lenguaje.

Se subdivide en seis estadios:

- Ejercicios reflejos: cero a un mes.
- Primeros Hábitos: De uno a cuatro meses y medio.
- Coordinación de la visión y de la presión y comienzo de las reacciones “secundarias” De los cuatro hasta los ocho o nueve meses.
- Coordinación de los esquemas secundarios. De los ocho o nueve meses hasta los once o doce meses.
- Diferenciación de los esquemas de acción por reacción circular terciaria. Desde los once o doce meses hasta los 18 meses.

- Comienzo de la interiorización de los esquemas y de solución de algunos problemas, con detención de la acción y comprensión brusca. Desde los 18-24 meses.

Etapas de Preparación y Organización de las Operaciones Concretas.

Ésta implica un nivel cualitativamente superior en el desarrollo de las estructuras intelectuales. Esta segunda etapa del desarrollo intelectual, Piaget la subdivide en dos grandes momentos: la subetapa de preparación de las operaciones concreto (pensamiento operatorio) y la subetapa de las operaciones concretas (pensamiento operatorio concreto).

El pensamiento preoperatorio abarca desde los 2 hasta los 7 años aproximadamente y se caracteriza por ser un pensamiento preconceptual, intuitivo, egocéntrico, muy influido por la percepción y donde el niño se encuentra todavía centrado en su punto de vista.

El pensamiento operatorio concreto, comprende desde los 7 u 8 años hasta los 11 o 12 años, y conlleva un importante avance en el desarrollo del pensamiento infantil. Aparecen por primera vez operaciones mentales, aunque referidas o ligadas a objetos concretos. Entre las principales operaciones comprendidas en este estadio, Piaget señala la clasificación, la seriación, la conservación y otras.

Estas estructuras lógicas se van haciendo cada vez más complejas hasta culminar a los 15 o 16 años.

Etapas del pensamiento Lógico-Formal.

Éste surge a partir de los 15 o 16 años, se caracteriza por ser un pensamiento hipotético-deductivo que le permite al sujeto llegar a deducciones a partir de hipótesis enunciadas verbalmente; y que son, según Piaget, las más adecuadas para interactuar e interpretar la realidad objetiva. Estas estructuras lógico-formales resumen las operaciones que le permiten al hombre construir, de manera efectiva, su realidad. Todo conocimiento es por tanto, una construcción activa por el sujeto de estructuras operacionales internas.

Piaget no limita su concepción al desarrollo intelectual, sino que extiende la explicación a las demás áreas de la personalidad (afectiva, moral, motivacional), pero basándolas en la formación de las estructuras operatorias. El desarrollo intelectual, es la premisa y origen de toda personalidad.

Desarrollo cognitivo en la Infancia Intermedia

La infancia intermedia contempla la edad de 6 a 11 años (Delval, 1994), esta etapa corresponde a la Operacional Concreta de Piaget, en donde el niño logra la constitución de una lógica y de estructuras operatorias concretas. Este carácter "concreto" significa que este nivel se encuentra en los inicios de la lógica propiamente dicha, las operaciones se refieren a los objetos mismos, que se limitan a clasificación, seriación y correspondencia. La operación está todavía ligada a la acción sobre los objetos y a la manipulación efectiva de ellos, pero, a finales de esta etapa el niño comienza a razonar de una manera más formal, pudiendo durante esta etapa contar con un razonamiento propiamente abstracto del mundo (Papalia, 2001).

El niño se pone en contacto con la nueva actividad cognitiva, en la resolución de problemas, el niño debe ser capaz de no sólo describir la solución de un problema sino debe ser capaz de mostrar todo el proceso de su resolución (Talizina, 1992).

PROCESOS COGNOSCITIVOS

La infancia intermedia coincide con el principio de la escolaridad formalmente dicha del niño, esto marca un parteaguas en su desarrollo mental. En cada uno de los aspectos del desarrollo cognoscitivo, aparecen formas de organización nuevas, que se superponen a las construcciones esbozadas en el curso de la etapa anterior asegurando con esto estabilidad, al mismo tiempo que comienzan una serie ininterrumpida de construcciones nuevas (Piaget, 1975).

El término *cognición* se refiere a conocer o pensar, es preferido sobre otros términos por la inclusión de un amplio rango de habilidades humanas como memoria, percepción, atención y resolución de problemas entre otros (Spreen, 1995). Se entiende como el conocimiento alcanzado mediante el ejercicio de las facultades mentales; lo cual implica la existencia de un tipo de habilidad a la cual se denomina como facultad o capacidad mental (Flavell, 1984). Explicada como función dinámica y como estructura, el término mente, tanto como sistema físico y como sistema dinámico, es definido también, como facultad intelectual y su base estructurada (Lipsitt & Reese, 1985) y sus procesos se subordinan a una o varias finalidades específicas dentro de un conjunto funcional, a nivel cognitivo éste puede ser dividido en conjuntos menores o subsistemas, los que actúan con procesos identificables, por ejemplo: Percepción, Memoria, Atención, Pensamiento y Lenguaje (Santiago de T, 2006). Los principales procesos cognoscitivos desarrollados en la infancia son los siguientes:

Atención

Existen dos sistemas de atención que operan en el cerebro. El primero es visto como un sistema accionado ambientalmente y que responde primariamente a los estímulos biológicos. La segunda unidad es responsable de la atención voluntaria, identificada como un sistema que envuelve una interpretación de estímulos ambientales de la persona. Ambos sistemas trabajan en paralelo dentro del cerebro, permitiendo al individuo monitorear el ambiente para eventos que puedan requerir una respuesta (Luria, 1980a).

Es también de relevancia en el contexto del desarrollo la atención dividida y la inhibición de la impulsividad. La primera se refiere a la capacidad de atender simultáneamente a dos tareas o estímulos y es generalmente presentada como una función de la región frontal del cerebro. La habilidad para inhibir respuestas prepotentes o para suprimir respuestas impulsivas ha sido también ligada con funciones de lóbulo frontal.

La investigación del desarrollo demuestra que los niños pequeños tienen una limitada capacidad atencional, posiblemente reflejando la inmadurez de los sustratos neuronales subyacentes, por ejemplo, axones inmielinizados y lóbulos frontales en desarrollo (Anderson, 2001)

Las teorías sobre el desarrollo cognitivo están basadas sobre observaciones del comportamiento y su subyacente organización, estas teorías son complementarias, más que contradictorias entre ellas. Por ejemplo, el desarrollo de las operaciones concretas y formales, en un modo general, está relacionado a la maduración de los lóbulos frontales (Rains, 2002).

Aprendizaje

El aprendizaje puede ser definido como un cambio relativamente estable en la conducta del sujeto como resultado de la experiencia, producido a través del establecimiento de asociaciones entre estímulos y respuestas mediante la práctica en un nivel elemental, supuesto que comparte la especie humana con algunos otros seres vivos que han sufrido el mismo desarrollo evolutivo (Navarro, 1993).

La perspectiva del aprendizaje está relacionada con el descubrimiento de las leyes objetivas que rigen el comportamiento observable. Los teóricos del aprendizaje sostienen que el desarrollo es resultado del aprendizaje, un cambio perdurable del comportamiento basado en la experiencia o la adaptación al entorno (Papalia, 2001).

En el ser humano, la capacidad de aprendizaje ha llegado a constituir un factor que sobrepasa a la habilidad común en las mismas ramas evolutivas, consistente en el cambio conductual en función del entorno dado. En efecto, a través de la continua adquisición de conocimiento, la especie humana ha logrado hasta cierto punto el poder de independizarse de su contexto ecológico e incluso de modificarlo según sus necesidades (Novak, 1998).

Existe toda una gama de problemas infantiles relacionados con el desarrollo que, a pesar de haber sido intensamente estudiada, particularmente durante los últimos años, continúa siendo un territorio por explorar.

Memoria

La memoria ha sido definida como la capacidad de registrar, retener y recuperar información, y no es una entidad unitaria ni homogénea sino que está compuesta de diferentes habilidades, que depende de distintos sistemas cerebrales (Anderson, 2001). La memoria y el aprendizaje, aunque frecuentemente son tratadas como habilidades humanas separadas, son una parte integral de la actividad cognitiva. En el niño, no aumenta mucho la capacidad de memoria, pero sí las estrategias de aprendizaje y recuperación de la información (Sprenen, 1995).

En su sentido más simple, la memoria es la retención de lo aprendido o lo experimentado. No es un proceso estático en el que la información almacenada se queda en estado de inactividad, sino que los procesos involucrados en la función de la memoria están constantemente construyendo y transformando la información que debe recordarse. El término *memoria* no se refiere a todas las posibles dimensiones e interacciones de las señales de la memoria sino a su relativa disponibilidad según la miden el reconocimiento, el recuerdo o la facilitación para el aprendizaje (Ruiz-Vargas, 1994). Es un sistema funcional, activo por su carácter, que se despliega en el tiempo de una serie de eslabones sucesivos y que está organizado en varios niveles. Este carácter complejo y sistémico está presente en los procesos fundamentales de la memoria y se refiere por igual al proceso de registro como al de evocación de las huellas impresas (Luria, 1980b).

Desde el nacimiento hasta la edad adulta los niños experimentan cambios dramáticos en habilidades cognitivas (Anderson, 2001).

La memoria y el aprendizaje comienzan al nacer, aunque esos procesos son más difíciles de esclarecer en infantes y niños pequeños. Los niños más grandes pueden tener una mejor comprensión dentro de sus sistemas de memoria y pueden usarla para ubicar apropiadamente fuentes de memoria y elegir estrategias relevantes para generar una mejor retención (Graig, 1996).

Desde el punto de vista Neuroanatómico, un desarrollo incompleto de los lóbulos frontales implica habilidad limitada para organizar información y utilizar estrategias para optimizar la capacidad de procesamiento de información (Anderson, 2001)

Memoria a corto plazo

La Memoria a corto plazo (MCP), es un almacén de capacidad y persistencia limitada en que la información precedente de la memoria sensorial, tras haber sido captada por la atención, permanece de 15 a 30 segundos, a menos que intervengan mecanismos de repetición que prolonguen esa duración, de ser así pueden mantener la información en este almacén el tiempo necesario para ser codificado y conseguir su almacenamiento definitivo. Si no es el caso, la información se pierde después de ese intervalo de tiempo. La capacidad de la MCP es de 7 ± 2 unidades de información, aunque se sabe que ese número varía con el tipo de información que se trate. La mayoría de los autores consideran que en la MCP, las imágenes sensoriales procedentes de los almacenes sensoriales, son recodificadas en un formato verbal (Baddeley, 1999).

Memoria a largo plazo

La memoria a largo plazo (MLP), es un almacén de capacidad ilimitada en el que la información permanece de un estado inactivo en espera de ser activada por el sistema, lo que se traduce en su reincorporación a la memoria a corto plazo (Rains, 2002).

En la memoria a largo plazo la información estaría semánticamente representada ya que sólo accedería a este almacén aquella información que haya sido sometida a un proceso semántico en la memoria a corto plazo (Baddeley, 1999). Gran parte de la memoria a largo plazo para material presentado en forma auditiva implica lenguaje, y éste es almacenado probablemente más en función de su significado que de su sonido (Luria, 1980b).

Procesos de memoria

En lo que respecta a los procesos de la memoria, estos se agrupan en procesos de adquisición o aprendizaje, procesos de almacenamiento o retención y procesos de recuperación o recuerdo.

- *Codificación*

La adquisición de información nueva o aprendizaje se logra mediante una serie de procesos denominados de codificación. Los procesos de codificación cuando se aplican a la información que llega a la MCP, transforman dicha información en unidades significativas asimilables por el cuerpo de información ya existente en el sistema. Estos procesos no sólo van a determinar el almacenamiento de la información, sino además, en gran medida la recuperación de la información almacenada (Howe, 1979).

- *Retención*

La fase de retención es el intervalo transcurrido entre la fase de almacenamiento y el recuerdo. Si ese intervalo es nulo se habla de un recuerdo “inmediato”, en caso contrario, de recuerdo o de reconocimiento “diferido”.

Si se deja que en ese intervalo el sujeto permanezca inactivo se dice que existe un intervalo vacío, caso en el que es muy probable que si se ha identificado que se está aplicando una prueba de memoria, el sistema cognoscitivo del sujeto se dedique a operaciones de repetición y procesamiento de la información a retener (Navarro, 1993). Si se pide al sujeto que dedique ese tiempo a resolver ciertas tareas cognoscitivas cuyo grado de interferencia con el material a aprender sea controlado en función de los objetivos de la investigación, se habla entonces de un intervalo “ocupado” o “relleno” (Ruiz-Vargas, 1994).

- *Recuperación*

Los procesos de recuperación no se pueden considerar independientes de los procesos de codificación, ya que en buena medida dependen de ellos. Sin embargo, también involucran otras variables que se deben tener en cuenta a la hora de valorar estos procesos (Ramírez, 2004).

Procesamiento de Información

Se ha hecho una distinción entre los procesos cognoscitivos que requieren un esfuerzo consciente en contraposición a las operaciones automáticas. Las operaciones que demandan esfuerzo usualmente se refieren a una búsqueda explícita y a procedimientos estratégicos usados para codificar y después evocar el material presentado previamente (Navarro, 1993). Las operaciones automáticas tienden a requerir menos de la atención y se necesitan codificar y evocar menos aspectos sobresalientes de los estímulos. Una prueba de la independencia funcional de éstas operaciones es el estudio en poblaciones con algún daño neurológico en tareas que requieren tanto operaciones automáticas como aquellas que demandan un esfuerzo consciente (Rains, 2002).

La estructura cognitiva de la memoria puede definirse como una representación no específica de la experiencia, como una representación organizada jerárquicamente dependiendo de agrupamientos conceptuales inclusivos, por medio de los que se pueden clasificar materiales con menos inclusividad y estabilidad (Ruiz-Vargas, 1994).

Las demandas de la memoria varían durante una tarea dependiendo del contenido que tiene que ser recordado y de las instrucciones que guían la intención del sujeto para codificar y recuperar la información.

Sin embargo, todas las tareas de memoria, requieren la operación de procesos controlados conscientemente (intencionales) o inconscientes (automáticos, no intencionales) los cuales operan durante la codificación y recuperación (Baddeley, 1999).

Al principio, durante un periodo que es variable, los materiales recientemente catalogados pueden ser disociados de sus conceptos centrales y reproducirse como entidades individualmente identificables. La codificación verbal parece facilitar el recuerdo al permitir que el sujeto produzca cierto tipo de representación de los estímulos ausentes durante el periodo de demora entre la presentación de los estímulos y su posterior recuerdo (Luria, 1980b).

Con el crecimiento del lenguaje y el establecimiento de una estructura cognitiva más adecuada durante los años de la escuela primaria, la memoria se hace cada vez más estable e interviene en forma creciente en la capacidad para resolver problemas más complejos (Ramírez, 2004; Soprano, 2003).

En los últimos años se ha intentado descubrir qué estructuras sustentan la función mnésica y en particular a la MCP. Según la evidencia experimental con la que se cuenta, la corteza prefrontal (CPF) juega un papel crítico en la memoria a corto plazo, la cual mantiene activa y hace uso de la información por periodos breves de tiempo para guiar futuros procesos cognoscitivos y motores (Baddeley, 1999).

Se ha sentado la hipótesis de que los sistemas operacionales concretos de Piaget son estructuras que ayudan a mejorar la memoria de corto plazo en los primeros años de escuela primaria, en comparación con los años preescolares (Navarro, 1993).

Funciones ejecutivas

El término de Funciones Ejecutivas ha sido usado en el modelo de procesamiento de información, para señalar actividades cognitivas superiores tales como estrategias de planeación, control de impulsos, búsqueda organizada y el auto monitoreo del comportamiento de uno mismo (Rains, 2002). Las funciones ejecutivas pueden ser representadas como el ejecutivo central del sistema de procesamiento de información, el componente que dirige la atención, monitorea las actividades, y coordina e integra la información y la actividad (Anderson, 2001). Las Funciones ejecutivas pueden ser conceptualizadas por tener cuatro componentes: volición, planeación, comportamiento útil y ejecución efectiva (Lezak, 2004).

Históricamente, los modelos cognitivos han apoyado fuertemente una vista jerárquica del desarrollo. En particular, la teoría del desarrollo cognitivo de Piaget, aunque no provee referencias específicas a posibles sustratos neurales, es altamente compatible con las teorías jerárquicas del desarrollo cerebral (Anderson, 2001).

Muchos teorizadores Neo-Piagetianos ven al desarrollo cognitivo ampliamente basado en avances en el procesamiento de información. Un modelo de desarrollo cognitivo (Das, Kirby, & Jarman, 1979) que posee componentes de integración de la información puede ser relacionado con la teoría del desarrollo de Jean Piaget. El primer componente de dicho modelo es el input sensorial, que actúa esencialmente como un buffer o almacenamiento temporal, que recibe información sensorial de forma inicial y transfiere la información a la unidad central de procesamiento. El componente final de este modelo es responsable del output comportamental (Obrzut, 1986).

Lenguaje

Desde el punto de vista antropológico y etnológico, el lenguaje articulado constituye una de las manifestaciones características que separan al hombre de los seres irracionales, puesto que hasta lo que se sabe actualmente, ninguna otra especie posee un sistema de comunicación comparado al lenguaje humano (Rains, 2002). Los animales, expresan y comunican sus sensaciones por medios instintivos, pero no hablan, a diferencia de los seres dotados de conciencia (Santiago de T, 2006).

El lenguaje humano es infinitamente creativo. Los hablantes no sólo repiten lo que han escuchado; en vez de ello, inventan oraciones novedosas, muchas de las cuales deben ser únicas (Rains, 2002).

Piaget resalta la universalidad de la cognición y considera al contexto relativamente poco importante y escasamente influyente en los cambios cualitativos de la cognición. El niño es visto como constructor activo de su conocimiento y, por lo tanto, del lenguaje (Manga & Ramos, 1991). Piaget presentó una teoría integrada del desarrollo cognitivo, que era universal en su aplicabilidad y fue caracterizada la estructura subyacente del pensamiento. Su aproximación es constructivista e interaccionista a la vez. Se proponen dos mecanismos constructores de las estructuras cognitivas para tratar con entornos cada vez más complejos: la organización y la acomodación. Estos principios son aplicables al estudio del desarrollo del lenguaje; éste se centraría en una expresión cada vez más clara y lógica del pensamiento y en una progresiva socialización, basada en la capacidad progresiva del niño para comprender puntos de vistas ajenos (de lenguaje egocéntrico a social) (Ausubel, 1983).

Inteligencia

Se considera a la inteligencia como una capacidad que subyace o hace posible un tipo de conducta “superior” que se distingue de otras más “primitivas” o inferiores como los instintos y hábitos. Se acepta que tiene como base o sustrato a los centros superiores del sistema nervioso central, particularmente la corteza cerebral, y en sus manifestaciones más evolucionadas se muestra como forma de conducta exclusiva del hombre (Pakin, 1999). Se la ha considerado siempre como un factor de rendimiento, en el cual entran en juego y se combinan funciones complejas como la imaginación, juicio o razonamiento, abstracción, generalización, memoria, síntesis, etc., (Cornejo, 2003).

Otro aspecto que frecuentemente se destaca, es que la conducta inteligente es una conducta adaptativa, en el sentido que habitualmente se manifiesta cuando un sujeto enfrenta un problema en su relación con el medio. En este caso, debe plantearse el problema, proponer y probar una solución y verificar su efectividad. Si ésta es adecuada, habrá solucionado el problema y con ello restablecido su relación armónica con el medio (Ausubel, 1983).

La inteligencia está definitivamente asociada a una condición existente en el mundo real (capacidad cognitiva) y tiene mucho valor teórico y práctico, tanto para explicar el desarrollo cognitivo y otros aspectos relativos a la conducta, como para determinar el nivel cognitivo en el que funcionan los individuos (Graig, 1996).

El concepto de inteligencia por definición, excluye el nivel de funcionamiento en todas las esferas no cognitivas de la conducta. Por consiguiente, la inteligencia se puede considerar como una capacidad funcional multideterminada, cuyo nivel en un individuo dado refleja la fuerza relativa de estos diversos factores según existen e interactúan en el caso particular de ese individuo (Cornejo, 2003).

ASPECTOS NEUROPSICOLÓGICOS DEL DESARROLLO COGNITIVO

Como parte de la neuropsicología básica y aplicada, aparece la neuropsicología infantil, o del desarrollo. La cual reconoce que si bien hay semejanzas entre el funcionamiento cerebral del adulto y del niño, también existen muchas e importantes diferencias; tales diferencias justifican un área particularizada de investigación y de práctica clínica que no debe sustentarse sólo sobre la generalización de los hallazgos neuropsicológicos en adultos. Las conceptualizaciones neuropsicológicas en el adulto, si bien son muy importantes, han aportado poco a la comprensión básica del funcionamiento neuropsicológico del niño que posee un cerebro en evolución y por lo tanto se presentarán más dificultades para analizar sus funciones cerebrales superiores, pues tienen un modo de expresión clínica menos específica (Pakin, 1999).

Se puede definir a la neuropsicología infantil como la ciencia que estudia los cambios que se producen en los diferentes tipos de actividad mental en su curso ontogenético en presencia de los procesos patológicos del cerebro (Obrzut, 1986).

La neuropsicología del desarrollo tiene sus propios problemas distintivos; por ejemplo, funcionalmente el sistema nervioso central del niño es diferente del adulto, el daño cerebral es mucho más generalizado en el niño y más localizado en el adulto, generalmente los problemas cerebrales en el niño se expresan como un fallo en las capacidades comportamentales y en adquirir nuevas habilidades cognitivas, mientras que el adulto que sufre un daño cerebral muestra más comúnmente un deterioro en las capacidades ya aprendidas (Soprano & Tallis, 1999).

Soprano (1999), ha diseñado un modelo del perfil neuropsicológico utilizando como parámetro la comparación de la edad cronológica del niño con la edad de desarrollo obtenido en cada una de las funciones neurocognitivas evaluadas por medio de pruebas o subpruebas específicos. En la actualidad, se han delimitado las siguientes funciones o grupo de funciones neuropsicológicas: funciones gnósicas y práxicas, funciones atencionales y sistema supervisor frontal, funciones de memoria y funciones lingüísticas las cuales son descritas a continuación.

Funciones gnósicas y práxicas

- Percepción visual: identificación, organización y/o interpretación de los datos sensoriales recibidos a través de la visión.
- Grafopercepción: capacidad de alto nivel de integración entre la interpretación visual y la coordinación motora gráfica (percepción viso-motriz).
- Praxias constructivas: acciones o sistema de movimientos coordinados en función de un resultado o de una intención (movimiento proposicional); las praxias constructivas se refieren a cualquier tipo de actividad del sujeto en la cual las partes se unen o articulan para formar una sola entidad u objeto.
- Planificación visual: capacidad para prever, anticipar y planear una respuesta organizada a través de información percibida en un contexto figurativo.
- Percepción auditiva: identificación, organización y/o interpretación de los datos sensoriales recibidos a través del oído (ritmo: periodicidad y estructura).

- **Percepción táctil:** reconocimiento de los distintos tipos de sensaciones táctiles, el tacto pasivo y la percepción de formas realzadas y objetos tridimensionales. Permite comprender cómo el sujeto capta, codifica y manipula información del medio aprendida a través de esta modalidad sensorial.
- **Somatognosia:** incluye la percepción de la posición relativa de las partes del cuerpo en el espacio (esquema corporal), el reconocimiento de las partes del cuerpo (concepto corporal) y la imagen corporal.

Función atencional y sistema supervisor frontal

- **Atención selectiva:** capacidad que pone en marcha y controla los procesos y mecanismos por los cuales el organismo procesa tan sólo una parte de toda la información, y/o da respuesta tan sólo a aquellas demandas del ambiente que son realmente útiles o importantes para el individuo (implica la selección de los estímulos y la selección del proceso y/o de la respuesta).
- **Atención focalizada:** capacidad para dar respuesta de forma diferencial a estímulos visuales, auditivos o táctiles específicos.
- **Atención dividida:** hace referencia a la actividad mediante la cual se ponen en marcha los mecanismos que el organismo utiliza para dar respuesta ante las múltiples demandas del ambiente o a diferentes demandas de una misma tarea.

- Atención sostenida: actividad que pone en marcha los procesos y/o mecanismos por los cuales el organismo es capaz de mantener el foco atencional y permanecer alerta ante la presencia de determinados estímulos durante períodos de tiempo relativamente largos (persistencia de la atención).
- Atención alternante: flexibilidad mental que permite cambiar el foco de atención y desplazarlo entre tareas que requieren distinta exigencia cognitiva, pero ejerciendo un control para que la información se atiende de forma selectiva.

Funciones de Memoria

- Memoria visual: cantidad de información recibida por la vía visual que el sujeto es capaz de aprehender simultáneamente (amplitud de memoria visual: supone retener y recordar el mayor número posible de elementos visuales después de haber mirado).
- Memoria auditiva: cantidad de información recibida por vía auditiva que el sujeto es capaz de aprehender simultáneamente (amplitud de memoria auditiva: supone retener y recordar el mayor número posible de elementos auditivos después de haber escuchado).
- Memoria de trabajo (memoria operativa): sistema de memoria en el cual se forman asociaciones entre metas, estímulos ambientales y conocimiento almacenado.

Funciones lingüísticas

- **Fonología:** estudio del material sonoro, tratando de recoger la información más exhaustiva posible sobre la materia sonora bruta y sus propiedades fisiológicas y físicas atendiendo a tres puntos de vista: la producción (fonética articuladora), la transmisión (fonética acústica) y la percepción (fonética auditiva).
- **Morfosintaxis:** componente lingüístico que se ocupa del estudio de las reglas que intervienen en la formación de las palabras y de las posibles combinaciones de éstas en el interior de las diferentes secuencias oracionales en las que se estructura una lengua. Se ocupa de describir las reglas de ordenamiento y funcionamiento tanto de unidades morfológicas como de las sintácticas.
- **Vocabulario:** conjunto de las palabras que integran la lengua utilizada por el sujeto.
- **Comprensión:** estudio del significado de los signos lingüísticos y de sus posibles combinaciones en los diferentes niveles de organización del sistema lingüístico, es decir, en las palabras, en las frases, en los enunciados y en el discurso.
- **Abstracción:** capacidad para elaborar esquemas, relaciones clasificatorias esenciales y captar semejanzas y diferencias en el lenguaje oral.

- Pragmática: funcionamiento del lenguaje en contextos sociales, situacionales y comunicativos; analizando las reglas que implican o regulan el uso intencional del lenguaje, teniendo en cuenta que se trata de un sistema social compartido que dispone de normas para su correcta utilización en contextos concretos.

Uno de los objetivos centrales de la neuropsicología infantil es identificar las capacidades naturales del niño, para aprovechar en la educación sus puntos fuertes así como intentar el reforzamiento de los puntos débiles por medio de un tratamiento neurocognitivo planificado y estructural.

Tener en cuenta aspectos neuropsicológicos del niño para el mejor desempeño formativo de éste, es una manera eficaz y eficiente de ordenar las capacidades neurocognitivas al servicio de su maduración tanto personal como educativa.

MANGANESO: TOXICOLOGÍA Y NEUROTOXICIDAD

Toxicología

Toxicología es la ciencia que estudia los mecanismos de acción de los químicos en los sistemas biológicos, los efectos adversos a que esto da lugar y la manera de prevenirlos y curarlos. Un tóxico es toda sustancia de naturaleza química que dependiendo de la concentración que alcance en el organismo y el tiempo en que esto suceda va a actuar sobre sistemas biológicos bien definidos causando alteraciones morfológicas, funcionales o bioquímicas que se traducen en enfermedad e incluso la muerte (Montoya, 2002).

La mayor parte de los compuestos químicos se encuentran en el ambiente donde la gente lleva a cabo sus actividades cotidianas: trabajo, hogar, sitios de recreo etc. Dos hechos son fundamentales; la forma como el organismo actúa sobre los compuestos tóxicos (Toxicocinética) y la forma en cómo ellos van a actuar sobre el organismo (Toxicodinámica) (Dreisbach, 2002).

Toxicocinética

Estudia el curso temporal de los tóxicos desde que se absorben hasta que llegan a su sitio de acción, comprende varias etapas:

Exposición. Se refiere a cómo el organismo se pone en contacto con los tóxicos. Dada la gran cantidad de ellos, la exposición puede ocurrir a través de diversas vías, siendo las más comunes la inhalatoria, la cutánea, y la digestiva.

Absorción. Estudia el paso de los tóxicos a través de las membranas biológicas hasta llegar a la circulación general para su distribución. El paso de los tóxicos depende de sus propiedades físico-químicas y de la facilidad que posean para combinarse con los componentes de las membranas.

Distribución. Una vez que han llegado a la sangre las moléculas tóxicas se distribuyen a los órganos o tejidos en donde serán almacenados transitoria, o permanentemente (órganos blanco), o en aquellos donde van a ocasionar sus efectos adversos (órganos críticos).

Excreción. Es la fase final del proceso toxicológico, los procesos generales del paso a través de las membranas se aplican igualmente para la eliminación, únicamente que los intercambios se realizan en sentido opuesto; de los tejidos a la sangre y de ésta al excretor. La ruta más importante de excreción es el riñón (Montoya, 2002).

Toxicodinamia

Estudia la interacción entre las moléculas de los tóxicos y los sitios específicos de la acción, los receptores. Esta unión da lugar a la formación de la nueva molécula a partir de la cual se origina el estímulo que produce el efecto en el órgano o célula efectora (Dreisbach, 2002).

NEUROTOXICIDAD

Se entiende por neurotoxicidad la capacidad de una sustancia para inducir efectos adversos en el SNC, los nervios periféricos o los órganos de los sentidos. Se considera que un producto químico es neurotóxico cuando es capaz de inducir un patrón constante de disfunción neural o cambios en la química o la estructura del sistema nervioso. Las sustancias neurotóxicas pueden atravesar la barrera del cerebro e interferir directamente en su complejo funcionamiento (Mergler, 1998a).

La neurotoxicidad se manifiesta como un conjunto de síntomas y efectos que dependen de la naturaleza del producto químico, la dosis, la duración de la exposición y las características que posea el individuo expuesto.

Las sustancias neurotóxicas comprenden elementos naturales como el plomo, el mercurio y el manganeso, compuestos biológicos y compuestos sintéticos, como pesticidas disolventes industriales y monómeros (Mergler, 1998a).

La exposición a sustancias neurotóxicas puede producir efectos inmediatos (agudos) o a largo plazo (crónicos). En ambos casos, los efectos pueden ser reversibles y desaparecer con el paso del tiempo tras la reducción o el cese de la exposición, u originar una lesión permanente irreversible (Spreen, 1995).

Los efectos de la intoxicación aguda reflejan respuesta inmediata a la sustancia química. La gravedad de los síntomas y los trastornos resultantes dependen de la cantidad que llegue al sistema nervioso. La intoxicación crónica, la cual se refiere a la exposición repetida a niveles bajos o medios de sustancias neurotóxicas durante muchos meses o años puede alterar las funciones del sistema nervioso de forma insidiosa y progresiva (Dreisbach, 2002).

La interferencia continua con los procesos moleculares y celulares hace que las funciones neurofisiológicas y psicológicas experimenten lentas alteraciones, que inicialmente pueden pasar inadvertidas debido a la existencia de grandes reservas en los circuitos del sistema nervioso, por lo que en las primeras etapas el daño puede compensarse mediante nuevos aprendizajes (Mergler, 1998a).

La lesión inicial del sistema nervioso no va necesariamente acompañada de trastornos funcionales y puede ser reversible. Sin embargo, a medida que el daño progresa, los síntomas y signos, a menudo de naturaleza inespecífica, se hacen evidentes y es posible que los individuos requieran atención médica.

El deterioro puede llegar a ser tan grave que se manifieste un síndrome clínico evidente, generalmente irreversible. (Mergler, 1998a).

La mayor parte de los compuestos químicos, potencialmente tóxicos, se encuentran en el ambiente general y donde los humanos llevan a cabo sus actividades cotidianas: el lugar de trabajo, el hogar y aún los sitios de recreo (Montoya, 2002).

MANGANESO

Generalidades

El Manganeseo (Mn) es un metal, un elemento traza esencial para la vida, que se encuentra en bajas cantidades en todas las dietas (Aschner et al., 2007), pero en grandes cantidades puede volverse un potente neurotóxico (Keen, 2005).

El Mn se encuentra en el 0.085% de la corteza terrestre, y es el cuarto metal más utilizado mundialmente (8 millones de toneladas), después del hierro (Fe), el aluminio (Al) y el cobre Cu. No se encuentra de forma pura. Existen 300 depósitos de Mn en el mundo, con más de 44% del metal, y existen documentados 400-500 millones de toneladas, principalmente en Australia, Brasil, Gabón y Sudáfrica. México se encuentra entre los cinco primeros productores del mundo, en donde es usado principalmente para consumo interno, y una menor parte es exportado en nódulos (Riojas-Rodríguez, 2004).

México es el segundo productor de manganeseo en Latinoamérica y ocupa el quinto lugar mundial (Riojas-Rodríguez, 2004) . Las fuentes antropogénicas de manganeseo son predominantemente para la fabricación de acero, aleaciones y productos de hierro.

Se emplea en la manufactura de aleaciones, baterías de células secas, cerámica, pinturas, preservativos de madera y gomas, además existe exposición importante al mismo, durante su extracción y procesamiento en minas (Montoya, 2002). El manganeso también es ampliamente usado como un agente oxidante, como un componente de fertilizantes y fungicidas (Keen, 2005).

Aunque es poco común, la deficiencia de Mn en la dieta del ser humano provoca alteraciones en el crecimiento, anormalidades esqueléticas, deficiencias reproductivas (Keen, 2005), entre otras complicaciones como reducción de tiempo de coagulación, dermatitis, cambios en el color del cabello y bajos niveles de colesterol (ATSDR, 2000).

La forma en que el cuerpo humano absorbe el Mn depende de la vía de administración. Por vía oral el Mn se absorbe en el intestino, y por vía olfatoria a través de los pulmones. El Mn también puede ingresar al SNC por vía del bulbo olfatorio (Aschner et al., 2007).

Fuentes de obtención

Las fuentes industriales de obtención de Mn son la minería y el procesamiento de metales. Sus mecanismos incluyen vaporización, reacción química, proceso mecánico, emisiones de metales almacenados y el transporte. La producción mundial de Mn se ha incrementado conforme la industrialización, de 1 millón de toneladas en 1950 a 24 millones de toneladas en 1980 (ATSDR, 2000).

Fuentes de exposición

El Mn puede llegar a ser un importante contaminante por su presencia en el aire proveniente de fuentes naturales o por su utilización en la minería y la industria. Por lo cual tiene importancia su estudio para la salud pública y ocupacional (ATSDR, 2000).

Exposición Ambiental

La concentración natural de Mn en el aire se encuentra entre 0.004 y 0.030 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual representa un nivel bajo. El Mn en el aire se asocia con otras partículas originando una masa con gran poder de dispersión, el límite de exposición para el Mn por vía inhalada es de 0.005 $\mu\text{g}/\text{g}$ (US EPA, 1999).

Los niveles de Mn en agua de océano suelen ser bajos y estables, pero en los niveles en ríos y en agua potable, la variación depende de las características geográficas, y de la contaminación del aire y del suelo. En los ríos se han reportado concentraciones que varían entre 0.02 $\mu\text{g}/\text{l}$ y 530 $\mu\text{g}/\text{l}$. En los océanos el promedio de Mn encontrado oscila entre 1 y 6 $\mu\text{g}/\text{l}$. Se ha reportado que cantidades superiores a las señaladas son causadas por la contaminación industrial (ATSDR, 2000).

Exposición Ocupacional

El ambiente ocupacional suele ser la principal fuente de contaminación ambiental. Las zonas mineras son las que se han reportado con mayores niveles de Mn en aire, elevando las concentraciones de Mn hasta 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ATSDR, 2000).

Límites de exposición

Los límites para la exposición a Mn se han establecido a partir de las diferentes fuentes de exposición y la manera en que cada una de éstas contribuye a la cantidad que ingresa y se absorbe en el organismo (ATSDR, 2000). Sin embargo, no se han podido establecer límites precisos de exposición al Mn, debido a que es un mineral esencial para el cuerpo humano, a las diferentes formas en que se mide, y a los criterios sanitarios utilizados por los diferentes países (Peters et al., 2003).

Los límites de exposición para manganeso y compuestos relacionados son los siguientes: polvo, $5\text{mg}/\text{m}^3$; vapores, $1\text{mg}/\text{m}^3$; tetraóxido, $1\text{mg}/\text{m}^3$; ciclopentadienil tricarbonil de manganeso, $0.1\text{mg}/\text{m}^3$; ciclopentadienil tricarbonil de metilmanganeso, $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ (Dreisbach, 2002). El nivel máximo recomendado por para niveles de Mn en sangre es de $10\ \mu\text{g}/\text{l}$ (US EPA, 1999). Para los niveles de Mn en cabello aún no se cuenta con un estimado máximo.

Los límites ambientales propuestos se han establecido de acuerdo con las concentraciones obtenidas de diversas zonas geográficas en donde no se han detectado efectos adversos a la salud de la población. Los límites ambientales todavía requieren de constantes evaluaciones, a diferencia de los límites en ambientes ocupacionales (ATSDR, 2000).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 1999) establece como límite de Mn para partículas respirables una concentración promedio ponderada de $0.05\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Poblaciones vulnerables

Las poblaciones vulnerables son aquellas en donde es mayor la probabilidad de que existan exposiciones a niveles altos del metal, o que los efectos de la intoxicación sean más evidentes que en el resto de la población. Entre los grupos vulnerables se encuentran principalmente niños (Riojas-Rodríguez, 2004), ancianos, trabajadores de minas donde exista Mn (Mergler et al., 1999), pobladores cercanos a minas manganesíferas, poblaciones urbanas con un alto nivel de industrias con Mn (ATSDR, 2000), poblaciones con déficits nutricionales (OMS, 1981).

Farmacocinética

La deficiencia de Mn en el ser humano causa alteraciones en el crecimiento, anormalidades en la estructura ósea, deficiencias reproductivas y problemas del metabolismo (Keen, 2005). Las principales alteraciones provocadas por desórdenes homeostáticos del Mn se encuentran en el SNC, por lo que los esfuerzos para caracterizar los mecanismos de absorción, distribución, acumulación y eliminación del Mn no sólo se enfocan a todo el organismo, sino también a su tránsito por el Sistema Nervioso (Keen, 2005).

Vías de ingreso

La principal vía de ingreso del Mn al organismo es la vía oral. Se ha reportado que la cantidad de Mn necesaria para mantener el balance del metal en el cuerpo humano es de 2 a 5 mg/día en la dieta (Aschner et al., 2007), aunque las cantidades que pueden ser absorbidas por el intestino pueden ser variables

(Bouchard, 2005). Los cereales, nueces, arroz, papas y el té son alimentos que aportan una importante cantidad de Mn en dieta diaria. Las cantidades de Mn en alimentos pueden variar de 0.1 mg/kg hasta 30-35 mg/kg.

La inhalación es la segunda vía en importancia de exposición, ya que es el mecanismo de entrada de mayor riesgo para el organismo, en particular para el SNC (Finkelstein, 2007).

Absorción

Los mecanismos para la absorción del Mn en el organismo dependen directamente de la vía de administración. Por vía oral el Mn es absorbido en el intestino. Por vía inhalada se absorbe a través de los pulmones (Pramod, Samii, & Calne, 1999). La acción conjugada del intestino y del hígado regulan la absorción del Mn, aumentándola cuando existe deficiencia en la dieta, y disminuyéndola cuando los niveles son altos (Aschner et al., 2007). El Mn también puede ingresar al SNC a través del bulbo olfatorio, en este caso la exposición es directa y no se conocen mecanismos protectores para el organismo al no contar con la intervención de la barrera hematoencefálica.

Eliminación

La vía más importante de eliminación de Mn en el ser humano es a través de la excreción de bilis. La vía urinaria contribuye muy poco en la eliminación total de Mn. La participación del hígado en la eliminación y distribución del Mn se evidencia cuando se presentan alteraciones en dicho órgano (Aschner et al., 2007).

Transporte

Los mecanismos entrada del Mn en el SNC pueden ser a través de la barrera hematoencefálica y por medio del sistema olfatorio.

El Mn inhalado presenta un mayor riesgo, por su capacidad para ser absorbido por el bulbo olfatorio, transportándose de forma interneuronal e introduciéndose directamente en el SNC (Bouchard, 2008). Lo anterior muestra que, comparado con la ruta oral cuando el Mn es inhalado posee una absorción 10 veces más alta (Dorman, Struve, Clewell, & Andersen, 2006).

NEUROTOXICIDAD POR MANGANESO

El cerebro es el órgano principal de daño para el Mn, por lo que su ingreso al SNC es importante desde el punto de vista toxicocinético. El estudio de los mecanismos de entrada, toxicidad y efectos sobre la conducta se vuelven importantes para la prevención y tratamiento de la exposición al metal, tanto en ambientes ocupacionales como no ocupacionales (Bouchard, 2008).

Neurotoxicidad por Mn en adultos

El diagnóstico de esta intoxicación debe fundamentarse en el antecedente de la exposición laboral al manganeso, ya que algunos síntomas son semejantes a los de la enfermedad de Parkinson (Mergler, 1998b).

El “manganismo” está documentado en mineros y trabajadores expuestos a niveles altos del metal, por inhalación de gases en minas y en plantas de fundición, reportándose casos de alteraciones psicomotoras, en el caso de mineros, y en menor medida en trabajadores de la industria (Mergler et al., 1994).

Un estudio realizado por Mergler et al. (Mergler et al., 1994) incluyó trabajadores varones de una fábrica de aleación de ferromanganeso y silicomanganeso que fueron pareados por edad y nivel educativo, con otros trabajadores de la región sin un historial de exposición. Los trabajadores expuestos tenían niveles significativamente más altos de Mn en sangre, y mostraban una ejecución pobre en pruebas de función motriz al ser comparados con el grupo control. Usando la Batería Neuropsicológica de Luria-Nebraska, los autores reportan que los trabajadores expuestos tuvieron una ejecución más pobre que los controles en pruebas de funciones motrices. Se reportan diferencias significativas en flexibilidad cognitiva y estado afectivo, al igual que niveles más altos de tensión, fatiga y confusión, y niveles más bajos en el umbral de percepción olfatoria.

Mergler et al. (1994), reportó puntuaciones bajas en numerosas pruebas de funcionamiento neuroconductual, incluyendo habilidad motora y dígitos en símbolos en trabajadores expuestos a Mn. Los trabajadores mostraron una tendencia a adquirir una postura de lado al caminar con los ojos cerrados.

En un estudio piloto con población mexicana, ambientalmente expuesta a Mn (Santos-Burgoa et al., 2001), y llevado a cabo en población mexicana, se encontró un desempeño pobre en el estado cognitivo general utilizando la prueba Mini-Mental State Examination (MMSE), en relación con los niveles de Mn en sangre. Asimismo un estudio más reciente (Rodríguez-Agudelo et al., 2006) reportó una asociación significativa entre las concentraciones de Mn medidas en el aire y pruebas de coordinación motora, concluyendo que las personas evaluadas en el estudio que viven circundantes a las minas de Mn y plantas procesadoras sufren de un déficit motor incipiente, como resultado de la inhalación constante de polvo con concentraciones altas de Mn.

Como antecedente de efectos cognoscitivos por exposición ambiental a Mn se tienen los estudios elaborados por Bowler (1999) y Rodríguez-Agudelo et al., (2006) en donde se muestra la existencia de efectos neuropsicológicos por exposición no ocupacional a Mn, a diferencia de que estos estudios se llevaron a cabo con una población adulta la cual presenta efectos distintos a los que pueden presentarse durante el desarrollo (Takser, Mergler, & Hellier, 2003).

Otros resultados llevados a cabo en adultos mostraron que los principales procesos cognitivos alterados en dicha población fueron la atención y la orientación de los sujetos (Rodríguez-Agudelo et al., 2006). Como se ha mencionado antes, de acuerdo con Pakin (1999) y Soprano (1999), los procesos neuropsicológicos en adultos difieren con los que se tienen en la infancia, puesto que en ella, dichos procesos se encuentran aún en desarrollo.

La mayoría de la investigación realizada hasta el momento en cuanto a neurotoxicidad por exposición a Mn ha sido llevada a cabo en población ocupacionalmente expuesta, no así en el caso de población expuesta de forma ambiental. En el primer caso la exposición al metal es alta y periódica, a diferencia del segundo, en el que las concentraciones son más bajas, pero crónicas. Esto argumenta la necesidad de llevar a cabo investigación acerca de los efectos neuropsicológicos de la exposición prolongada.

Neurotoxicidad por Mn en niños

En los niños, quienes están desarrollando sus habilidades cognoscitivas, los tóxicos pueden tener un fuerte impacto en grupos celulares específicos o estructuras cerebrales y en la construcción de sistemas a través del tiempo.

La valoración del cambio conductual subsecuente a exposición a agentes tóxicos en el niño debe tomar en cuenta las interacciones del desarrollo (Holmes, 1994).

Se sabe que los tóxicos pueden afectar al ser humano. El costo de tales afectaciones al individuo y a la sociedad puede ser determinado, no sólo en términos de estrés emocional y daños físicos, sino también en términos de cuidado médico especializado, intervenciones tempranas, servicios educativos especiales. (Holmes, 1994).

Aunque los sistemas motores generalmente se han considerado como el blanco principal de la neurotoxicidad por Mn, el espectro de efectos adversos es más amplio (Crossgrove, 2004). Pocas investigaciones han examinado las consecuencias de la exposición excesiva a Mn sobre funciones neurológicas o del desarrollo en niños (Wasserman et al., 2006).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado de Hidalgo, tiene uno de los depósitos más grandes de Mn de América Latina y del mundo; este depósito es de gran importancia porque es fundamental en la elaboración de acero y otros derivados metálicos. Este metal se ha estado extrayendo desde hace más de 40 años y se ha identificado que su producción genera impactos ambientales y a la salud.

Existen pocos trabajos en los que se haya evaluado el efecto del Mn, en población infantil, y ninguno en países en desarrollo donde se encuentran este tipo de minas, en donde los niveles de Mn son altos.

Durante la infancia existen periodos críticos durante los cuales es importante que ocurran ciertos hechos específicos, a fin de que el organismo pueda ascender a un nivel más alto del desarrollo (Lipsitt & Reese, 1985), es importante recordar que los factores físicos, cognoscitivos y psicosociales interactúan en el desarrollo individual (Graig, 1996).

En el caso de una sobreexposición ambiental a un metal, como es el Mn, es necesario valorar los efectos que éste haya podido inducir en aspectos tan importantes como el desarrollo de funciones cognoscitivas de los niños.

¿Existen diferencias entre las habilidades cognoscitivas de niños expuestos y no expuestos ambientalmente a Mn?

Si existen diferencias, ¿Estas tendrán alguna asociación con la exposición al metal, y de qué tipo?

OBJETIVOS

Objetivos generales

Evaluar procesos cognoscitivos en niños de 7 a 11 años de edad expuestos ambientalmente a Mn., y compararlos con un grupo control.

Establecer si existen diferencias significativas entre los puntajes obtenidos en las pruebas por ambos grupos.

Objetivos específicos

Si existen diferencias significativas entre los grupos, establecer si dichas diferencias se deben a los niveles de Mn., encontrados en sangre y cabello de los niños.

Establecer si existen diferencias en los puntajes de las pruebas entre género.

2. MÉTODO

HIPÓTESIS

- Los niños expuestos a concentraciones altas de Mn tendrán una ejecución deficiente en la Escala de Inteligencia Wechsler y el Test de Aprendizaje y Memoria Auditivo Verbal en comparación a aquellos que no están expuestos a Mn.
- Los niveles de Mn encontrados en el grupo expuesto serán significativamente más altos que los del grupo control.
- Las diferencias del desempeño en las pruebas está asociada con los niveles de Mn elevados en los niños del grupo expuesto.

VARIABLES

Variables independientes

Manganeso en sangre. Concentración de Mn, elemento traza esencial distribuido en torrente sanguíneo. Expresada en $\mu\text{g/l}$ (microgramos por litro).

Manganeso en cabello. Concentración de Mn depositado en el cabello por absorción del cuerpo y no por depósito externo. Expresada en $\mu\text{g/g}$ (microgramos por gramo).

Variables dependientes

Coeficiente Intelectual. Factor de rendimiento cognitivo, en el cual se combinan funciones complejas como juicio, razonamiento, abstracción, generalización, memoria o síntesis.

Memoria Verbal. Proceso cognoscitivo relacionados con la retención y evocación de información de tipo lingüístico auditivo. Se midió con el Test Auditivo de Aprendizaje Verbal Infantil California (CAVLT)

Aprendizaje verbal. Proceso cognoscitivo relacionados con la codificación y almacenamiento de información de tipo lingüístico auditivo. Se midió con el Test Auditivo de Aprendizaje Verbal Infantil California (CAVLT)

Diseño de investigación

Cuasiexperimental de comparación de grupos, transversal, descriptivo.

PARTICIPANTES

Se realizó un estudio transversal con un tamaño de muestra de 200 niños: 100 niños de 7 a 11 años, de ambos sexos, residentes de dos localidades del municipio de Molango (población expuesta) y 100 niños control de 7 a 11 años, de ambos sexos, de una comunidad con características similares en cuanto a condiciones de vida, hábitos, costumbres e índice de marginalidad (Agua Blanca).

Los niños participantes se reclutaron de las escuelas primarias en las comunidades expuestas y no expuestas. Se incluyeron un total de 100 niños por cada uno de los dos grupos y se seleccionó aleatoriamente un 20% para cada uno de los grupos de edad en los grados de segundo a sexto de primaria. Para la selección aleatoria se utilizaron las listas de asistencia asignando un número a cada niño y se generó una lista de reemplazo.

Criterios de exclusión para ambos grupos

- Tener un diagnóstico de enfermedad neurológica al momento de la evaluación.
- Tener alguna enfermedad que no permita desarrollar las pruebas tales como debilidad visual o auditiva.
- Niños y madres que no aceptaron participar en el estudio y que no hayan firmado un consentimiento informado.

INSTRUMENTOS

Las pruebas neuropsicológicas incluidas en el estudio han mostrado sensibilidad a la neurotoxicidad del Mn (Wasserman et al., 2006). Adicionalmente, cuentan con especificidad aceptable, son fáciles de aplicar y económicas. Se aplicaron en el estudio llevado a cabo por (Wright et al., 2005) y (Wasserman et al., 2006) al ser una prueba de amplia sensibilidad.

Escala Wechsler de Inteligencia Infantil (WISC)

La Escala de Inteligencia Infantil WISC, proporciona tres CI separados: un CI de Escala Verbal, un CI de Escala de Ejecución y un CI de Escala Completa.

Tabla 1. Escalas Verbal y Ejecución del WISC. Constan de 6 subescalas cada una, las cuales valoran distintos aspectos cognitivos.

ESCALA VERBAL	
SUBESCALA	VALORA
<i>Información</i>	Información y conocimientos generales que el sujeto ha tomado de su medio, y la capacidad para recordar y evocar estos conocimientos
<i>Comprensión</i>	Capacidad de comprensión verbal, el juicio social o sentido común; uso del conocimiento práctico, conocimiento de normas convencionales de conducta, juicio moral y ético, razonamiento, evaluación de situaciones sociales, expresión verbal.
<i>Aritmética</i>	Habilidad de razonamiento numérico, calculo mental, capacidad para utilizar conceptos numéricos y operaciones matemáticas, concentración y atención, traducción de problemas verbales en operaciones aritméticas, memoria, secuenciación.
<i>Semejanzas</i>	Comprensión verbal, formación verbal de conceptos, pensamiento asociativo, abstracto, concreto y funcional; habilidad para separar los detalles esenciales de los que no lo son, memoria, cognición y expresión verbal.
<i>Vocabulario</i>	Comprensión verbal, desarrollo del lenguaje, capacidad de aprendizaje, consolidación de la información, riqueza de ideas, memoria, formación de conceptos. Conocimientos adquiridos. Pensamiento abstracto. Expresión verbal y cognición.
<i>Retención de dígitos</i>	Atención voluntaria. Concentración, memoria auditiva inmediata y secuenciación auditiva. Refleja los efectos de la ansiedad.

ESCALA DE EJECUCIÓN	
<i>Figuras Incompletas</i>	Organización perceptual. Identificación visual de objetos. Identificación de características esenciales. Capacidad de observación, identificación de objetos familiares (reconocimiento visual). Concentración en el material percibido visualmente, razonamiento, organización. Discriminación de lo esencial y accesorio. Cierre y memoria visuales.
<i>Ordenamiento de dibujos</i>	Organización perceptual, anticipación. Planeación de situaciones consecutivas, habilidad de razonamiento no verbal, atención a los detalles. Secuenciación visual, sentido común, inteligencia aplicada a relaciones interpersonales, captación de secuencias temporales lógicas.
<i>Diseño con cubos</i>	Organización perceptual, capacidad de análisis y síntesis. Coordinación visomotora, visualización espacial, habilidad para conceptualización abstracta. Análisis y síntesis. Es la subescala más estable de la escala de la ejecución.
<i>Ensamble de objetos</i>	Organización perceptual, coordinación visomotora, anticipación visual de las relaciones parte y todo, y planeación. Capacidad para sintetizar partes concretas dentro de un todo significativo y relaciones espaciales.
<i>Claves</i>	Factor de distracción, destrezas motoras, velocidad psicomotriz, coordinación óculo manual. Memoria a corto plazo, recuerdo visual.
<i>Laberintos</i>	Organización perceptual, la capacidad de planeación y previsión. Coordinación visomotora, coordinación mano - ojo, atención y concentración. Así como velocidad. Se trata de 8 laberintos de dificultad creciente, se cuentan tiempo y errores.

Análisis de Factores del WISC

Otro enfoque en el análisis del rendimiento de un individuo en las pruebas de Wechsler se basa en estudios realizados con metodologías de análisis de factores. Siguiendo esta orientación, (Kaufman, 1982) se propuso una agrupación de las subescalas de las escalas de Wechsler en tres grupos, que no corresponden a la división propuesta por Wechsler en subescalas verbales y subescalas manuales o de ejecución. Los tres factores identificados por Kaufman y las subescalas que agrupan, son los siguientes:

1. Comprensión Verbal:

Describe la capacidad hipotética subyacente del factor tanto para el contenido (verbal) del reactivo, como para el proceso mental (comprensión). Este factor parece medir una variable común a las subescalas de la Escala Verbal, es el conocimiento que se adquiere mediante la educación formal y representa la aplicación de las habilidades verbales a situaciones nuevas.

Conformado por las subescalas de Información, Semejanzas, Vocabulario y Comprensión

2. Organización Perceptual:

Es la capacidad para organizar e interpretar el material comprendido visualmente en un límite de tiempo, describe la capacidad hipotética subyacente al factor tanto para el contenido (perceptual) del reactivo como para el proceso mental (organización). Este factor parece medir una variable común a las subescalas de la Escala de Ejecución *Conformado por las subescalas de Figuras Incompletas, Ordenamiento de Dibujos, Cubos, Ensamblaje y Laberintos.*

3. Distracción:

Mide la capacidad de distracción. *Conformado por las subescalas de Aritmética, Retención de Dígitos y Claves.* Las capacidades de comprensión verbal y organización perceptual son del dominio cognitivo, en tanto que el factor de distracción se pertenece al dominio afectivo o de conducta, se enfoca en la capacidad para permanecer atento. (Sattler, 1996)

A fin de reducir el número de variables del WISC, dejando para su análisis tres variables representativas, se realizó el análisis de factores principales de Kauffman.

Prueba de Aprendizaje y Memoria Auditivo Verbal Infantil CAVLT.

Se utilizó el Test Auditivo de Aprendizaje Verbal Infantil (CAVLT) (Talley, 1997). El CAVLT consta de tres listas de palabras: una lista de aprendizaje (lista A) la cual se lee al sujeto a lo largo de 5 ensayos pidiendo que enuncie las palabras recordadas en cada ensayo, una lista de interferencia (lista B) que es leída al niño para luego pedirle que enuncie las palabras recordadas para después tratar de evocar las palabras de la lista A. Por último se lee una lista de reconocimiento para que el niño discrimine entre las que pertenecen a la lista A y las que no. Cada una de las listas tiene una estructura interna. La estructura de la lista A y B son idénticas ya que cada una de ellas consta de 16 palabras pertenecientes a cuatro categorías semánticas (cuatro palabras por cada categoría) tales como: partes del cuerpo, partes de la casa, animales y prendas de vestir. La lista de reconocimiento consta de 32 palabras con las mismas categorías semánticas antes mencionadas.

Esta prueba se concibió pensando en la necesidad de disponer de un test de aprendizaje verbal específico para niños; es decir, que la selección de palabras se realice de acuerdo al vocabulario y nivel de experiencia de niños y adolescentes (Soprano, 2003). La naturaleza semántica de las palabras hacen del CAVLT una prueba muy confiable respecto al sesgo cultural (Talley, 1997).

Escalas del CAVLT.

Con el CAVLT se obtiene una curva de aprendizaje, así como puntuaciones de Evocación Inmediata, Evocación Tardía, Nivel de reconocimiento, Span de memoria inmediata y Nivel de aprendizaje.

La confiabilidad de la prueba es de 0.82 para los índices de la curva de aprendizaje, y de 0.88 para los índices del perfil total de la escala (Talley, 1997).

Curva de Aprendizaje

Evalúa la progresión del aprendizaje, es decir, la cantidad de relativa de palabras que el sujeto ha repetido a lo largo de los 5 ensayos de la lista A. La curva más frecuente muestra un incremento regular de un ensayo a otro.

Evocación Inmediata

Se obtiene del primer ensayo de las listas A y B, evalúa la fragilidad o susceptibilidad que tiene la nueva información para ser interrumpida. Bajos puntajes sugieren que el nuevo aprendizaje es vulnerable a interferencia por exposición a otro material.

Evocación Tardía

Se obtiene de la lista A después de transcurridos 20 minutos de haberse leído por última vez, evalúa el funcionamiento de la memoria a largo plazo y habilidades de recuperación. Bajos puntajes sugieren déficit de recuperación de la información.

Nivel de Reconocimiento

Evalúa habilidades de la memoria de reconocimiento. Bajos puntajes sugieren dificultad en la codificación inicial de la información dentro de la memoria a largo plazo.

Span de Memoria Inmediata

Es obtenida del ensayo 1 y la lista de interferencia valúa el funcionamiento de la memoria cuando la información excede la capacidad de almacenamiento a corto plazo. Bajos puntajes sugieren déficit en el funcionamiento de la memoria a corto plazo.

Nivel de Aprendizaje

Se obtiene de sumar los ensayos 3, 4 y 5, evalúa las habilidades de codificación en la memoria a largo plazo. Bajos puntajes sugieren una proporción reducida de la cantidad de aprendizaje.

Déficits globales en las escalas

Una ejecución baja en todas las escalas del CAVLT puede ocurrir cuando (a) el sujeto no cumplía con los requerimientos para la aplicación de la prueba, o (b) el sujeto sufre de un déficit global en habilidades de aprendizaje y memoria verbal.

Niños y adolescentes con un déficit global tienen dificultad para codificar información dentro de la memoria a corto plazo y no muestran una mejoría en su aprendizaje con la práctica. A causa de la pequeña cantidad de material que es frágil y pobremente codificada, tienen dificultad para evocar información inmediatamente después del aprendizaje y después de un breve retardo.

Cuestionario sociodemográfico para las madres

Se realizó una entrevista semi-estructurada centrada en las etapas del desarrollo del niño así como de su historia clínica preguntando sobre enfermedades y/o traumatismos sufridos a lo largo de su crecimiento. Del mismo modo se obtuvieron datos sociodemográficos del niño como de ambos padres tales como escolaridad, ocupación y tiempo de residencia en el lugar.

Concentraciones de Mn en sangre

Las muestras fueron recolectadas por personal del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía “Manuel Velasco Suárez” (INNNMVS). Se tomaron 20 ml. de sangre venosa de los niños para el aislamiento de plaquetas. Todas las muestras se refrigeraron durante la transportación hasta su análisis, el cual se llevó a cabo en menos de 24 horas después de la toma. Se usó la técnica del espectrofotómetro de absorción atómica, analizado por 7 días con el propósito de establecer un intervalo de confianza para el método analítico del metal. La determinación de Mn fue llevada a cabo en sangre total. Todo el material usado para la determinación de Mn fue de plástico y tratado con ácido nítrico para evitar contaminación externa.

Concentraciones de Mn en cabello

El cabello fue recolectado por personal del INNNMVS, al mismo tiempo en que se tomaron las muestras de sangre. Se tomaron de 0.5 a un gramo de cabello de la región occipital de la cabeza y del cuero cabelludo. Fueron almacenadas en una bolsa de plástico foliada para su transporte. Después se cortaron en pequeñas piezas y se lavaron con detergente no iónico (2%) y se enjuagaron tres veces con agua no ionizada. Las muestras se secaron en un horno a 60°C . Se colocaron 0.3 gramos dentro de un tubo de polietileno libre de metales donde se adicionaron 250 ml de ácido nítrico. Las muestras se digirieron por 30 minutos a 60°C con agitación constante. La luz flotante fue inyectada dentro de un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados son expresados en mg de Mn por gramo de cabello (Mortada, Sobh, El-Defrawy, & Farahat, 2002).

Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo dentro del distrito minero de Molango, del cual se incluyeron dos comunidades (Chiconcoac y Tolago), al norte del estado de Hidalgo. Este distrito cubre un área de 50 km por 25 km; que tienen una reserva de 32 millones de toneladas de Mn. El grupo control estuvo conformado por niños pertenecientes a tres comunidades del municipio de Agua Blanca, el cual está situado al este del estado y tiene una extensión de 97.6 kms². Las tres comunidades contempladas para este propósito fueron Chichicastle, El Palizar y Los Cubes.

PROCEDIMIENTO

Este trabajo es derivado del proyecto “Exposición a manganeso en residentes de un distrito manganesífero (México)” del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía y del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). El objetivo de dicho proyecto es determinar los factores ambientales y antropogénicos que establecen la exposición a Mn, así como diseñar e implementar un plan de manejo en colaboración con los actores sociales locales.

Se invitó a participar a todos los niños y padres de familia residentes de las comunidades, mediante pláticas informativas en los centros de salud y reuniones en las escuelas.

Todas las madres que desearon participar firmaron una carta de consentimiento informado donde se les explicó el objetivo y procedimiento del estudio; su participación fue voluntaria. A los niños también se les dio un consentimiento informado, en caso de aceptar, escribieron su afirmación y su nombre. A las madres que no saben leer y escribir se les leyó y explicó el consentimiento informado y se les pidió su huella dactilar en lugar de firma.

Se citó a los niños que cumplieron con los criterios de inclusión al centro de salud de cada comunidad, en donde se aplicaron las pruebas en sitios acondicionados para ello dentro del mismo centro de salud, donde también se realizó la toma de muestras de sangre y cabello. El tiempo aproximado de la evaluación neuropsicológica de los niños y de la entrevista de las madres fue de 2 horas aproximadamente.

Las muestras de sangre y cabello, se llevaron a cabo una semana después de la evaluación neuropsicológica. El análisis de Mn en sangre y cabello se realizó en el Departamento de Neuroquímica del INNNMVS.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se obtuvieron los datos descriptivos tales como medias, frecuencias, mínimos y máximos para las distintas variables sociodemográficas de los grupos, y las medidas para las variables de exposición.

Los puntajes de la Escala de Inteligencia WISC, así como de la prueba de Aprendizaje y Memoria Verbal CAVLT fueron las variables de respuesta. Se realizó un análisis exploratorio para determinar la distribución de los resultados dentro de la muestra poblacional. Fueron utilizados de acuerdo con puntos de corte establecidos en la literatura. (Wechsler, 2004) ; (Talley, 1997).

Las principales variables de exposición fueron las concentraciones de Mn en sangre y en cabello, las cuales se manejaron como variables continuas manteniendo los valores en sus unidades originales, las cuales fueron expresadas en microgramos por litro y microgramos por gramo (mcg/L y mcg/g respectivamente).

Con respecto a las variables de respuesta del WISC se realizó una prueba estadística de diferencia de medias entre las escalas. Posteriormente se realizó un análisis factorial con los puntajes de todas las subescalas como el efectuado por Kaufman (1982), para obtener los tres factores principales de la prueba y determinar el factor en el cual se encontró una mayor diferencia entre ambos

grupos. Al encontrar mayor diferencia entre grupos en puntajes involucrados con procesos verbales y de distracción, se incluyó el Test de Aprendizaje y Memoria Verbal CAVLT.

Dependiendo de la distribución de las variables de respuesta del CAVLT se realizaron análisis de diferencia de medias entre los grupos con relación a los puntajes obtenidos de la prueba, después se realizaron análisis bivariados con las variables de exposición utilizando modelos de regresión lineal. Se exploró la relación entre las concentraciones de Mn en el organismo y los resultados de la prueba de aprendizaje y memoria verbal. Se realizó el ajuste de los modelos estadísticos por variables tales como: escolaridad de los padres, género, concentraciones de plomo, índice de masa corporal y talla para la edad del niño.

3. RESULTADOS

La muestra estuvo conformada por 200 niños, 100 pertenecientes al grupo control y 100 pertenecientes al grupo experimental. La tabla 1., muestra los datos descriptivos referentes a variables sociodemográficas, así como las mediciones de exposición de ambos grupos (control y experimental) y se realizaron pruebas estadísticas de diferencias de medias dependiendo del tipo de variables para explorar posibles diferencias entre ellos.

Tabla 2. Características sociodemográficas de los sujetos.

Características de los niños	No expuestos	Expuestos	p*
Hombres (%)	49.4	53.2	0.54
Mujeres (%)	51.6	46.8	0.53
Edad (años)	9.1 (1.5)	9.8 (1.3)	0.02
Educación (años)	3.1 (1.4)	3.5 (1.3)	0.09
Talla para la edad (%)	12.2	20.5	0.14
Características familiares¶			
Edad de la madre (años)	34.7	35.0	0.77
Educación de la madre (años)	5.8	4.9	0.08
Casada/Unión libre (%)	93.3	86.1	0.12
Ama de casa (%)	89.0	92.3	0.45
Educación del padre (años)	5.02	6.09	.052
Metales			
Mn en Cabello (mcg/g)	0.73(0.06-3.6)	14.2(4.2-48)	0.000
Mn en Sangre (mcg/L)	8.4 (5.0-14.0)	10.1(5.5-18.0)	0.000
Pb en Sangre (mcg/L)	8.3(1.8-17.5)	4(0.5-13.5)	0.000

*p<0.05

VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS

No se encontraron diferencias significativas entre el género de ambos grupos (p=0.77). Se observó una diferencia significativa respecto a la media de edad, mostrando que el grupo expuesto es mayor en promedio de edad (p=0.002).

No existe diferencia entre los grupos respecto a los años de escuela cursados ni para el índice de talla para su edad.

Con respecto a las características familiares de los sujetos, no existe diferencia entre la edad promedio de las madres para ambos grupos, siendo ésta de 35 años ($p=0.77$). El nivel de educación de las madres medida en años resultó baja para ambos grupos situándose alrededor de los 5 años, tampoco presentó diferencias significativas ($p=0.08$). Respecto al estado civil de las madres de los niños tampoco existe diferencia entre ambos grupos, mostrando que, alrededor del 90% viven casadas o en unión libre. Para el nivel de educación de los padres de los sujetos tampoco existe una diferencia significativa, situándose la escolaridad en un promedio de 6 años ($p=0.52$).

NIVELES DE LOS METALES

Se encontró que el grupo control tiene niveles de Pb significativamente más elevados que el grupo expuesto ($p=0.00$), siendo el promedio para el grupo control 8.3 mg/L y para el grupo expuesto 4.0 mg/L. Este hallazgo hizo que se ajustaran los modelos estadísticos para eliminar la influencia de niveles de Pb en los puntajes de las pruebas.

Para los niveles de Mn encontrados en la sangre se encontró una diferencia significativa entre ambos grupos ($p=0.000$), siendo los promedios para el grupo control y expuesto de 8.4 y 10.1 mcg/L. respectivamente.

Algunos de los sujetos del grupo expuesto se encuentran por encima de los 10 $\mu\text{g/l}$, nivel máximo recomendado (ATSDR, 2000), mientras que el promedio de este grupo se encuentra sobre el límite máximo recomendado.

Los niveles de Mn obtenidos del cabello de los niños muestran una diferencia aún más grande ($p=0.000$), ya que los promedios de los grupos fueron de 0.73 mcg/g., para el grupo control y de 14.2 mcg/g., para el grupo expuesto. El nivel máximo de Mn encontrado en el grupo control fue de 3.6 mcg/g., el cual es menor que el nivel mínimo encontrado en el grupo expuesto que fue de 4.2 mcg/g.

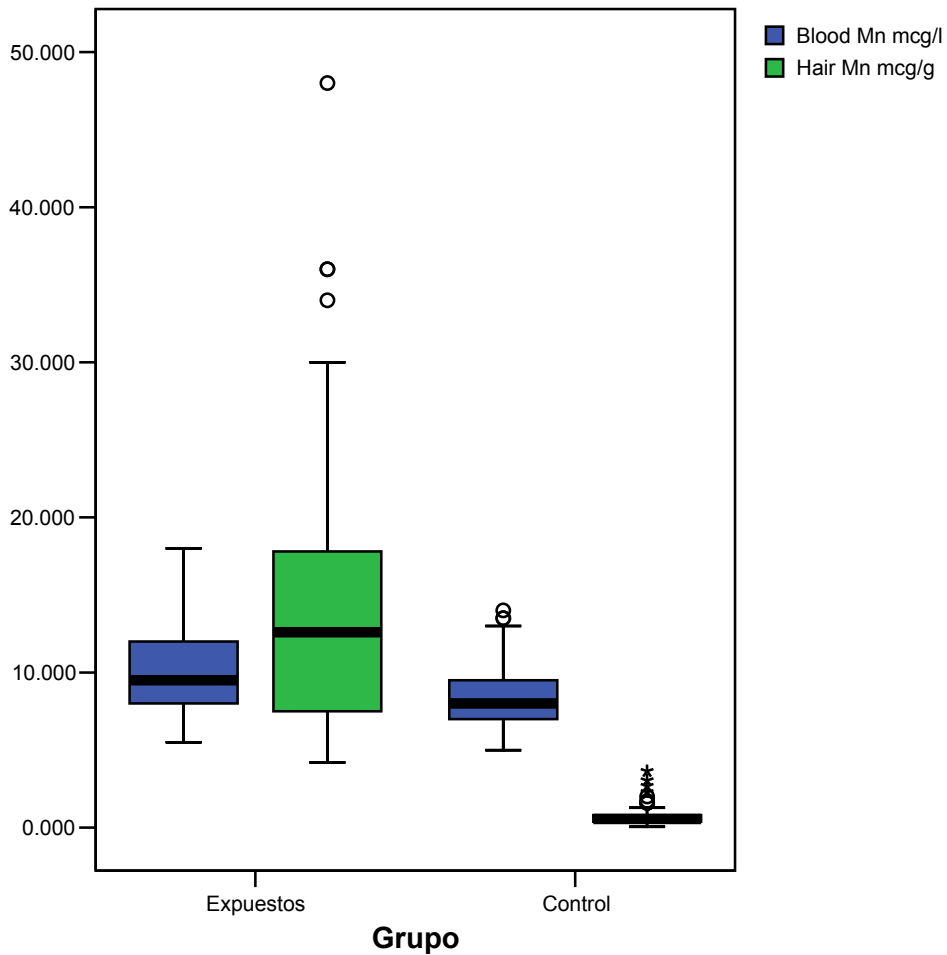


Figura 1. Distribución de Mn en sangre y cabello.

La Figura 1., muestra la distribución de los niveles de Mn hallados en la sangre y cabello de ambos grupos dejando ver que los niveles de Mn hallados en cabello muestran una disparidad más grande que los niveles encontrados en sangre.

PUNTUACIONES DE LA ESCALA DE INTELIGENCIA WISC

Se realizó un análisis estadístico de diferencia de medias para establecer la existencia de diferencia entre las medias de los puntajes obtenidos de cada una de las subescalas del WISC encontrando diferencias significativas ($p < 0.05$) en las subescalas Información, Aritmética, Vocabulario, Comprensión, Retención de dígitos, Figuras incompletas, y para la subescala suplementaria Laberintos.

Tabla 3. Diferencia de medias entre grupos para las subescalas del WISC, se muestran en negrita los valores significativos.

Subescala		Expuesto	Control	p*
Información	Media	5.28	6.54	.002
Semejanzas	Media	5.89	5.87	.968
Aritmética	Media	8.76	10.02	.004
Vocabulario	Media	7.32	9.03	.000
Comprensión	Media	6.10	7.62	.000
Retención de dígitos	Media	5.36	6.37	.005
Figuras Incompletas	Media	6.50	7.57	.011
Ordenación de dibujos	Media	5.48	6.39	.050
Diseño con cubos	Media	6.87	7.30	.355
Composición de objetos	Media	6.07	6.82	.098
Claves	Media	5.91	6.39	.281
Laberintos	Media	8.79	10.36	.003

* $p < 0.05$

Posteriormente se realizó un Análisis Factorial de los puntajes de las subescalas encontrando los tres factores reportados por Kaufman (1982), Organización Perceptual (Factor 1), Comprensión Verbal (Factor 2) y Distracción (Factor 3). En donde los factores 2 y 3 están compuestos por las subescalas con diferencias significativas entre grupos.

Tabla 4. Análisis factorial de las subescalas del WISC de acuerdo con Kaufman (1982) se encontraron tres factores principales: (Organización perceptual, Comprensión verbal y Distracción.

	Factor		
	1	2	3
WISC Información	.072	.520	.635
WISC Semejanzas	.153	.729	-.088
WISC Aritmética	.341	.386	.560
WISC Vocabulario	.273	.730	.326
WISC Comprensión	.173	.661	.194
WISC Retención dígitos	.212	.047	.721
WISC Figuras incompletas	.613	.372	.163
WISC Ordenación dibujos	.562	.398	.200
WISC Diseño cubos	.729	.155	.279
WISC Composición objetos	.693	.319	.055
WISC Claves	.203	.032	.682
WISC Laberintos	.756	-.051	.290

Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

PUNTUACIONES DE LA PRUEBA DE APRENDIZAJE Y MEMORIA VERBAL CAVLT

Después de convertir los puntajes crudos de la prueba de Aprendizaje y Memoria Verbal CAVLT a puntajes estándar, se realizó una prueba T de Student para definir la existencia de diferencia entre las medias de las puntuaciones con respecto al género de los sujetos no encontrando diferencias significativas entre los puntajes de éstos ($p > 0.05$).

Tabla 5. Diferencia de medias entre género

	Género		P*
	hombre	mujer	
CAVLT ensayo 1	88.9091	91.2105	.557
CAVLT ensayo 2	93.8081	94.5474	.786
CAVLT ensayo 3	92.6162	95.2105	.406
CAVLT ensayo 4	95.0707	97.8000	.212
CAVLT ensayo 5	97.9798	97.7263	.943
CAVLT evocación inmediata	97.5455	97.9895	.913
CAVLT evocación tardía	96.4747	98.1789	.505
CAVLT nivel de aprendizaje	94.9949	96.2842	.508
CAVLT span memoria inmediata	87.5657	88.2842	.529

* $p < 0.05$

La tabla 4, muestra los puntajes obtenidos en la prueba CAVLT con respecto al género de los sujetos encontrando que no existe diferencia significativa al respecto.

Posteriormente se realizó una prueba T de student para verificar si existían diferencias en los puntajes de los dos grupos, los puntajes obtenidos en la prueba CAVLT mostraron diferencias significativas entre ambos grupos para los 5 ensayos de la lista de palabras, así como para todos los índices de la prueba (evocación inmediata, evocación tardía, nivel de reconocimiento, span de memoria inmediata y nivel de aprendizaje) obteniendo un valor $p < 0.05$.

La tabla 6., muestra los puntajes estándar obtenidos en la prueba del CAVLT mostrando diferencia significativa entre los grupos expuesto y control.

Número de Ensayo		Expuesto	Control	p*
Ensayo 1	Media	85.4200	94.9468	.000
Ensayo 2	Media	88.5600	100.1383	.000
Ensayo 3	Media	88.0700	100.0745	.000
Ensayo 4	Media	88.5900	104.7234	.000
Ensayo 5	Media	90.5000	105.6809	.000
CAVLT evocación inmediata	Media	92.5400	103.3191	.000
CAVLT evocación tardía	Media	92.9000	102.0000	.000
CAVLT nivel de reconocimiento	Media	27.89	29.16	.002
CAVLT span de memoria inmediata	Media	82.9700	93.1809	.000
CAVLT nivel de aprendizaje	Media	87.9700	103.7713	.000

* $p < 0.05$

CURVA DE APRENDIZAJE

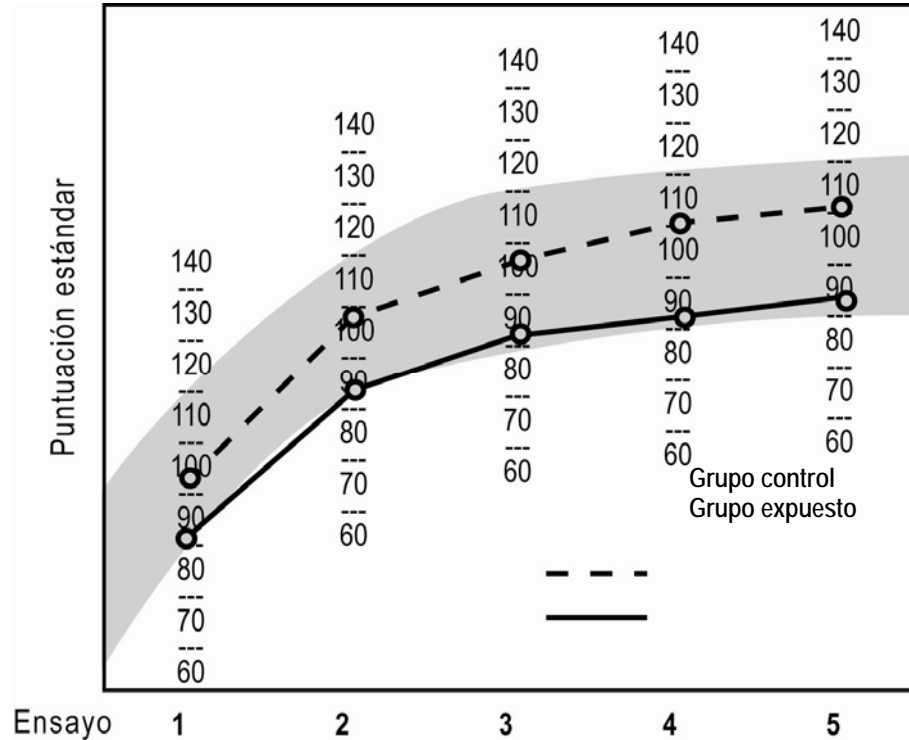


Figura 2. Curva de Aprendizaje obtenida de los 5 ensayos del CAVLT. La curva superior corresponde al grupo control, la inferior corresponde al grupo expuesto

La Figura 2, muestra el perfil de curva de aprendizaje del CAVLT, en donde la curva superior representa al grupo control, el cual se sitúa en la media de los máximos y mínimos establecidos por la prueba. La curva inferior representa al grupo expuesto, el cual se encuentra en el límite inferior que establecen los autores de la prueba (Talley, 1997). La diferencia entre ambas curvas es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

RESUMEN DEL PERFIL DE LA ESCALA

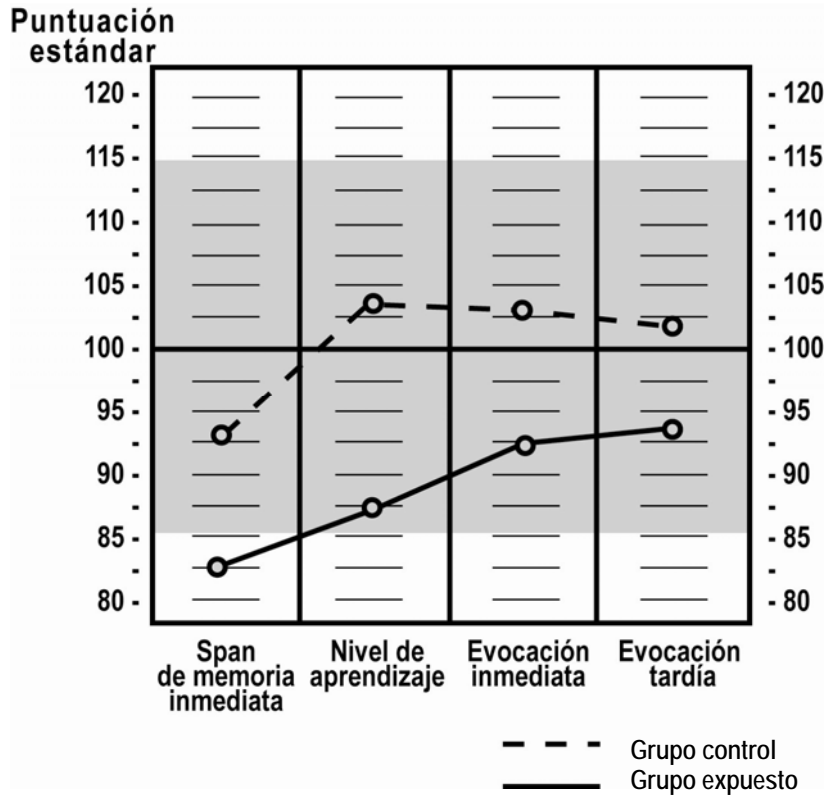


Figura 3. Promedios del Perfil de la Escala del CAVLT. El perfil de la parte superior corresponde al grupo Control, el perfil de la parte inferior corresponde al grupo expuesto.

La Figura 3, muestra los perfiles obtenidos en las escala del CAVLT mostrando que el grupo control se sitúa en el rango promedio establecido por la prueba, mientras que el grupo expuesto se sitúa por debajo de éste. Las diferencias entre ambos perfiles son estadísticamente significativas.

Una vez establecida la diferencia de medias entre los puntajes de ambos grupos, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los puntajes del CAVLT y los niveles de Mn encontrados en el organismo de los sujetos. Se encontraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre los niveles de Mn en sangre y los puntajes del índice Nivel de aprendizaje y los ensayos 2, 3, 4 y 5 del CAVLT.

Para los niveles de Mn en cabello se encontraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) para todos los puntajes del CAVLT con excepción del ensayo 1 de la lista de palabras ($p = 0.055$).

Tabla 7. Correlación entre puntajes del CAVLT y niveles de Mn en sangre y cabello de los sujetos

		Blood Mn µcg/l	Hair Mn µcg/g
CAVLT ensayo 1	Correlación de Pearson	-.073	-.147
CAVLT ensayo 2	Correlación de Pearson	-.190(*)	-.318(**)
CAVLT ensayo 3	Correlación de Pearson	-.180(*)	-.319(**)
CAVLT ensayo 4	Correlación de Pearson	-.225(**)	-.428(**)
CAVLT ensayo	Correlación de Pearson	-.157(*)	-.405(**)
CAVLT evocación inmediata	Correlación de Pearson	-.129	-.289(**)
CAVLT evocación tardía	Correlación de Pearson	-.140	-.216(**)
CAVLT reconocimiento	Correlación de Pearson	-.111	-.163(*)
CAVLT nivel de aprendizaje	Correlación de Pearson	-.202(**)	-.424(**)
CAVLT span de memoria inmediata	Correlación de Pearson	-.114	-.224(**)

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral).

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL PARA LOS PUNTAJES DEL CAVLT

Posteriormente se realizaron modelos de regresión lineal múltiple para verificar la existencia de una relación lineal entre las variables de respuesta del CAVLT y los niveles de Mn en el organismo. Los modelos fueron ajustados para aislar en lo posible la relación de los puntajes de la prueba con los niveles de exposición a Mn, de otras variables sociodemográficas tales como la escolaridad de ambos padres, IMC, talla para la edad, así como para los niveles de Pb encontrados en sangre, para poder así establecer relaciones dosis-respuesta para cada uno de los puntajes del CAVLT y los niveles de Mn obtenidos.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL: PUNTAJES DEL CAVLT / NIVELES DE MN EN SANGRE

Se encontró que, para el modelo de regresión lineal entre variables de respuesta y niveles de Mn en sangre, existe una relación lineal negativa significativa entre las variables Nivel de aprendizaje ($p=0.041$, $\beta= -0.170$) y Nivel de reconocimiento ($p=0.035$, $\beta= -0.169$) del CAVLT. Este modelo fue ajustado para restar la interferencia de las variables: Escolaridad del padre, Escolaridad de la madre, Talla para la edad, Edad en años del niño, Género del niño, IMC y Niveles de Pb en sangre.

Tabla 8. Relación obtenida del modelo de regresión lineal múltiple entre los puntajes del CAVLT y los niveles de Mn en sangre

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL Mn SANGRE		
	Coefficiente β	p*
Ensayo 1	-0.075	.366
Ensayo2	-.203	.013
Ensayo3	-.113	.178
Ensayo4	-.188	.023
Ensayo5	-.155	.069
Evocación Inmediata	-.143	.096
Evocación Tardía	-.134	.117
Reconocimiento	-.169	.035
Nivel de Aprendizaje	-.170	.041
Span de Memoria Inmediata	-.107	.207

*p<0.05 Ajustado por: Escolaridad del padre, Escolaridad de la madre, Talla para la edad, Edad en años del niño, Género del niño, IMC y Niveles de Pb en sangre.

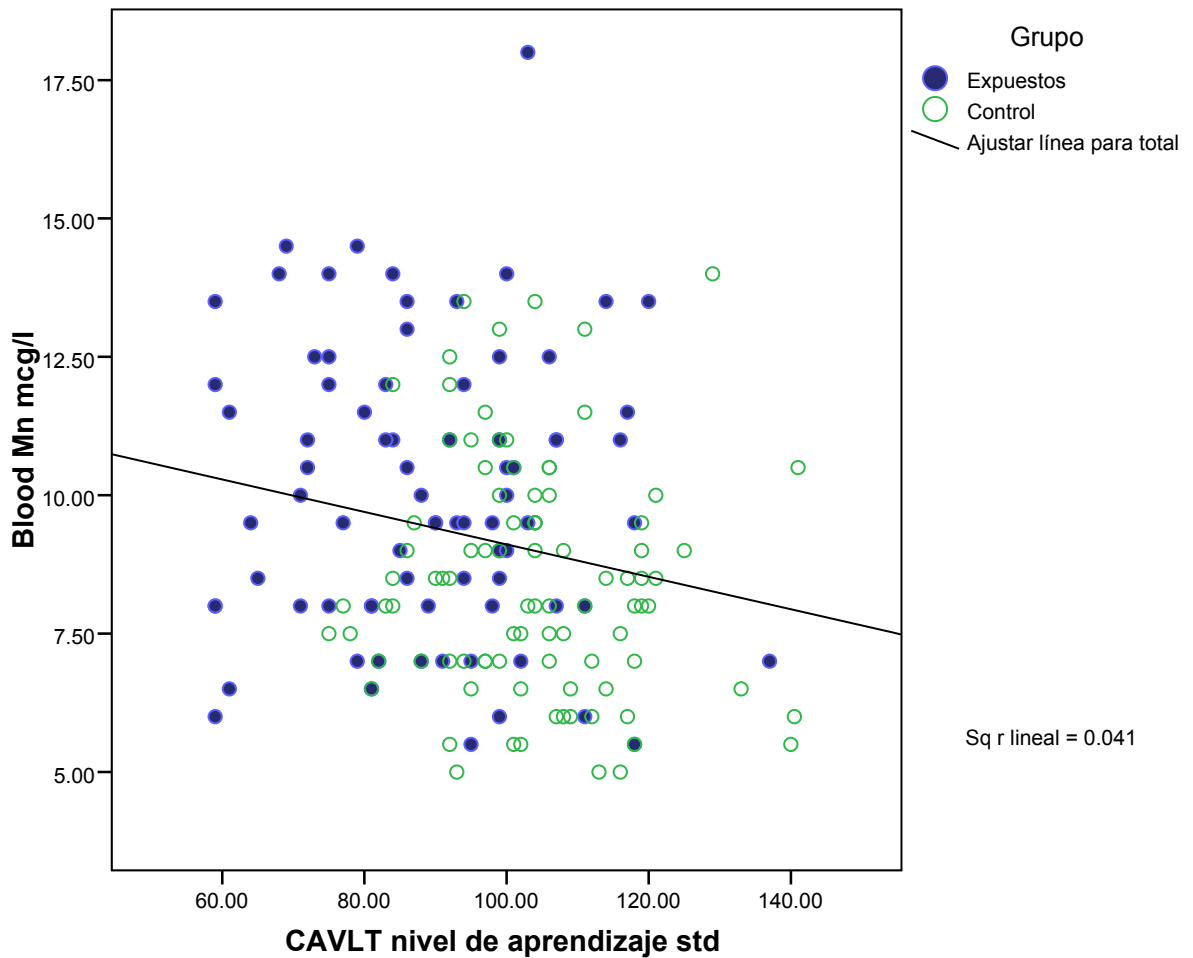


Figura 3. Gráfica de dispersión de puntos.

La relación lineal significativa entre la variable del CAVLT Nivel de aprendizaje y los niveles de Mn encontrados en sangre muestran una relación lineal negativa, lo que permite establecer que a mayor nivel de Mn en el organismo, es menor la puntuación obtenida en esta escala de la prueba.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL: PUNTAJES DEL CAVLT / NIVELES DE MN EN CABELLO

Para el modelo de regresión lineal entre las variables de respuesta y los niveles de Mn encontrados en el cabello de los sujetos, se encontró que existe una relación lineal negativa significativa entre las variables Nivel de aprendizaje ($p=0.00$, $\beta= -0.381$) y los ensayos 2 ($p=0.012$, $\beta= -0.252$), 3 ($p=0.005$, $\beta= -0.289$), 4 ($p=0.002$, $\beta= -0.312$), y 5 ($p=0.000$, $\beta= -0.360$) del CAVLT

Tabla 9., Relación obtenida del modelo de regresión lineal múltiple entre los puntajes del CAVLT y los niveles de Mn en cabello.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL Mn CABELLO		
	Coeficiente β	*p
Ensayo 1	-.093	.359
Ensayo2	-.252	.012
Ensayo3	-.289	.005
Ensayo4	-.312	.002
Ensayo5	-.360	.000
Evocación Inmediata	-.228	.029
Evocación Tardía	-.240	.021
Reconocimiento	-.137	.162
Nivel de Aprendizaje	-.381	.000
Span de Memoria Inmediata	-.226	.029

Ajustado por: Escolaridad del padre, Escolaridad de la madre, Talla para la edad, Edad en años del niño, Género del niño, IMC y Niveles de Pb en sangre.

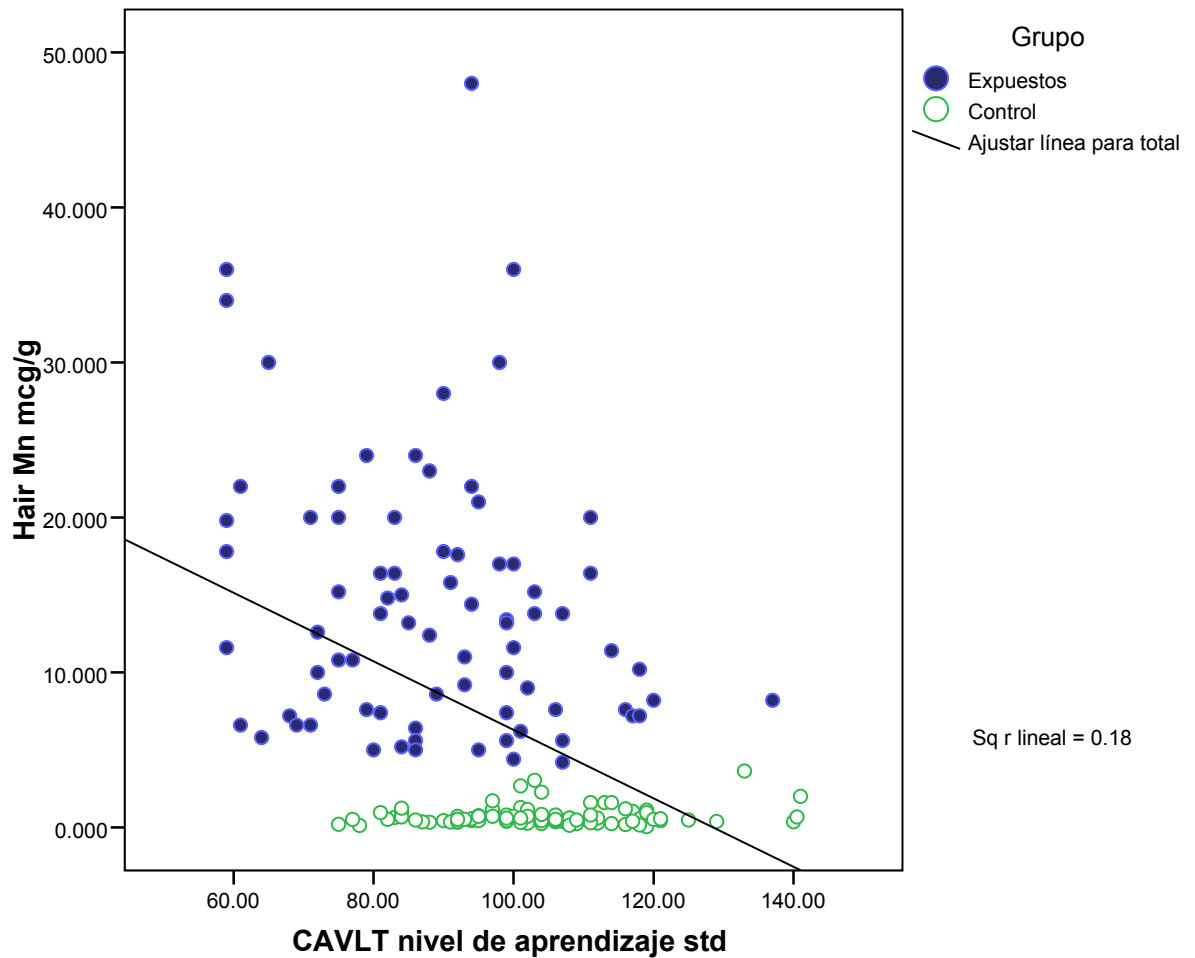


Figura 4. La relación lineal significativa entre la variable del CAVLT Nivel de aprendizaje y los niveles de Mn encontrados en cabello muestran una relación lineal negativa, la dispersión del Mn en el cabello es mucho mayor en el grupo expuesto con lo que se interpreta que, a mayor nivel de Mn en el organismo, es menor la puntuación obtenida en esta escala de la prueba.

4. DISCUSIÓN

La problemática tratada en el presente estudio ha sido, hasta el momento, muy poco abordada por la comunidad científica, en población infantil, se tienen muy pocos conocimientos acerca de los efectos cognoscitivos ocasionados por la exposición al Mn. Como antecedentes de este estudio se tienen los estudios de (Wright et al., 2005) y (Wasserman et al., 2006), los cuales incluyeron a niños en edad escolar expuestos a Mn por ingesta, que, a diferencia del presente estudio la exposición es de tipo ambiental. En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en relación con el género de los sujetos, resultado que es similar con lo reportado por Wasserman y por Wright. Las variables sociodemográficas son las de una población rural con un nivel económico bajo al igual que el nivel educativo (INEGI, 2004).

La distribución de los niveles de Mn en la sangre de ambos grupos se comportó con cierta similitud, aunque la diferencia entre éstos fue estadísticamente significativa ($p=0.00$). El nivel promedio de Mn en sangre encontrado en el grupo control fue de 8.47 mcg/L, para el grupo expuesto, el nivel de Mn fue de 10.04 mcg/L situándose en el límite permitido por la (ATSDR, 2000) que es de 10 mcg/L, y teniendo un mínimo de 5.50 mcg/L y un máximo de 18.0 mcg/L.

Al contrario de los niveles de Mn en sangre, la distribución de Mn encontrado en el cabello de los sujetos pertenecientes al grupo expuesto superó ampliamente los niveles de Mn del grupo control, habiéndose encontrado un promedio de 14.24 mcg/g en el grupo expuesto y un promedio de 0.73 mcg/g en el grupo control.

Los niveles de Mn en la sangre apuntan hacia un nivel de exposición agudo, es decir, en concentraciones muy altas en un periodo de tiempo relativamente corto, como es el caso de la ingesta, por otro lado los niveles de Mn en cabello son relacionados a niveles de exposición ambiental o crónica.

Hudnell, (1999), acentúa la diferencia entre las concentraciones por exposición ocupacional y no-ocupacional, donde la ocupacional es generalmente más aguda que una ambiental, pero ésta es intermitente, mientras que la exposición ambiental es más continua, comparada con la ocupacional, cubre 24 horas al día y envuelve más subgrupos sensibles tales como niños, y adultos mayores, los cual puede influir en el estado cognitivo.

Los niveles tan elevados encontrados en el organismo de los niños concuerda con lo expresado por (Keen, 2005) quien afirma que una población vulnerable por exposición ambiental a Mn, como es el caso de los niños puede correr un mayor riesgo de intoxicación, puesto que datos indican que la retención de Mn es muy alta durante la infancia, se ha sugerido que los neonatos pueden ser particularmente susceptibles a los efectos de neurotoxicidad por Mn. La alta retención de Mn en animales jóvenes con respecto a los adultos en parte refleja una inmadurez de vías excretoras, particularmente la de secreción de bilis, la cual es muy limitada en la edad temprana.

Los resultados encontrados en la Escala de Inteligencia WISC muestran que para las tareas ejecutivas no existe diferencia entre los niños de ambos grupos, sin embargo los niños de la población expuesta a Mn tienen un déficit cognoscitivo de tipo verbal en comparación con el grupo control, lo que se dedujo al encontrar diferencias significativas en las subescalas verbales de la prueba. Al realizar un análisis de acuerdo a lo propuesto por Kaufman (1982), que permitió aislar los factores principales de los puntajes del WISC se encontró que las subescalas con mayor diferencia entre ambos grupos se encontraban distribuidas en un factor de Distracción y en un factor de Comprensión Verbal, lo que justificó la aplicación de una prueba más específica que evaluara el aprendizaje y memoria auditivo-verbal como es el caso del CAVLT.

Los resultados obtenidos en la prueba de Aprendizaje y Memoria Verbal CAVLT muestran que el grupo expuesto obtuvo puntajes significativamente más bajos que los del grupo control ($p < 0.05$). La curva de aprendizaje y memoria muestran que los dos grupos tienen un avance progresivo en su aprendizaje al evocar las listas de palabras, es decir, las curvas de ambos muestran un aumento conforme los ensayos también van aumentando. Sin embargo la curva del grupo expuesto se sitúa todo el tiempo por debajo de la curva del grupo control, esto puede evidenciar que efectivamente algunos de los procesos cognoscitivos que se ven afectados por la exposición alta a Mn son los de aprendizaje y memoria verbal. Lo anterior se corrobora con lo presentado por Wright (2005) en donde los puntajes bajos en el CAVLT también se relacionaron de manera significativa con los niveles elevados de Mn en niños.

En el presente trabajo los objetivos fueron cubiertos al lograr establecer si existieron diferencias entre los puntajes obtenidos en las pruebas por ambos grupos, así como entre géneros al igual que establecer si dichas diferencias se debieron a los niveles de Mn encontrados en sangre y cabello de los niños.

Asimismo las hipótesis principales fueron corroboradas, es decir, se comprobó que los niños expuestos a concentraciones altas de Mn tuvieron una ejecución deficiente en la Escala de Inteligencia Wechsler y el Test de Aprendizaje y Memoria Auditivo Verbal en comparación a los niños del grupo control. Y a su vez, los niveles de Mn encontrados en el grupo expuesto fueron significativamente más altos que los del grupo control, lo cual llevó a comprobar que las diferencias del desempeño en las pruebas están asociadas inversamente con los niveles de Mn en el organismo de los niños.

5. CONCLUSIONES

La importancia de evaluar el aprendizaje y la memoria en niños se evidencia cuando se piensa en la calidad de trastornos que afectan a la población infantil y en los cuales la memoria parece estar involucrada. Según lo escrito por Soprano (2003), un buen rendimiento nemónico depende, obviamente de capacidades innatas, pero también de todo un conjunto de factores que interactúan con base biológica y entre sí. Esto es respaldado por (Ramírez, 2004) quien asegura que la memoria a corto plazo, y sobre todo la memoria de trabajo, desempeñan un papel esencial dentro de esta problemática, dado que interviene tanto para el dominio de la lectura y la comprensión de textos como en la aritmética y el cálculo.

Un factor de importancia fue separar del análisis estadístico los niveles de exposición al Pb, aunque la neurotoxicidad por Pb está bien establecida (Wasserman et al., 2006), relativamente se conoce poco acerca de la neurotoxicidad por Mn, el limitar la influencia del Pb en los puntajes de la prueba ayudó a que se tenga una confiabilidad mayor acerca de los efectos a nivel cognoscitivo que han sido provocados por Mn en el organismo de los niños, los cuales como ya se ha mencionado a lo largo de este estudio se encuentran en periodos críticos de su desarrollo.

Los modelos de regresión lineal múltiple dejan ver la existencia de una relación lineal inversa significativa ($p < 0.05$) con lo cual se puede establecer una relación causa-efecto entre los niveles de Mn y el rendimiento de memoria y aprendizaje de los niños. Los niveles de Mn en el cabello de los niños fueron más susceptibles a esta relación, con lo cual surge la idea de proponer estos niveles en cabello como un biomarcador confiable para la exposición crónica, porque, como ya se ha visto, los niveles de Mn en sangre, por su rápido ciclo de absorción y eliminación del cuerpo pueden servir como un biomarcador para la exposición aguda.

El Mn tiende a estar en mayor medida en tejidos ricos en mitocondrias; esta concentración en mitocondrias es más alta que en el citoplasma u otros organelos. El cabello puede acumular altas concentraciones de manganeso, y ha sido sugerido que las concentraciones de Mn en cabello puede reflejar el estatus de Mn (Keen, 2005).

En un estudio realizado por (Rodrigues & Batista, 2008) se propone utilizar los niveles de metales en el cabello como un biomarcador para la sobreexposición a éstos, Rodrigues y sus colaboradores elaboraron un análisis de correlación entre los niveles de diferentes metales pesados incluyendo Mn con los niveles de estos mismos metales en sangre. La correlación significativa entre los niveles en sangre y cabello de los distintos metales fue interpretado por Rodrigues como la existencia de un biomarcador que podría utilizarse de manera confiable para establecer niveles altos de exposición a los metales.

Lo anterior deja una opción para comenzar la búsqueda de un biomarcador que sea útil para indicar sobreexposición crónica a Mn, puesto que la correlación entre los niveles de Mn en sangre y cabello del presente estudio muestran que existe una correlación significativa entre éstos.

Si se pueden establecer con certeza los mecanismos con los cuales el rendimiento de la memoria y el aprendizaje se ven disminuidos, como es el caso de el presente estudio, se pueden comenzar a emplear medidas preventivas y también de intervención hacia esta problemática. Anderson (2001) deja claro que la evaluación e interpretación apropiadas de las funciones de memoria son cruciales para una acertada intervención y manejo de niños que sufren de trastornos neuropsicológicos. Soprano (2003) nos dice que en general, la evaluación neuropsicológica se centra en la comprensión del modo en que las funciones psicológicas se ven afectadas por enfermedades neurológicas y en la identificación del nivel y calidad de las funciones preservada.

Anderson también nos dice que un daño en la memoria ocurrido durante la infancia interferirá con la eficiente adquisición y acumulación de conocimientos y habilidades, limitando el desarrollo potencial del niño. En términos funcionales tales problemas son comúnmente reflejados por un progreso educativo pobre y dificultades de aprendizaje de reglas sociales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(OMS), O. M. d. I. S. (1981). *Manganese Environmental Health Criteria*. Retrieved. from.

Anderson, V. (2001). *Developmental Neuropsychology. A clinical approach*.

Aschner, M., Guilarte, T., Schneider, J., & Zheng, W. (2007). Manganese: recent advances in understanding its transport and neurotoxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 221, 131-147.

ATSDR. (2000). *Toxicological profile for Manganese. Update (Draft for public comment)*. Atlanta: US Department of Health and Human Services.

Ausubel, D. (1983). *El desarrollo infantil. Aspectos lingüísticos, cognitivos y físicos*. Barcelona: Paidós.

Baddeley, A. (1999). *Memoria Humana. Teoría y Práctica*. Madrid: McGraw Hill.

Bouchard, M. (2005). Manganese exposure and age: neurobehavioral performance among alloy production workers. *Environmental toxicology and pharmacology*, 19, 687-694.

Bouchard, M. (2008). Manganese cumulative exposure and symptoms: A follow-up study of alloy workers. *Neurotoxicology*, 29, 577-583.

Cornejo, R. (2003). ¿SE PUEDE MEDIR LA INTELIGENCIA?. El coeficiente intelectual y el desarrollo del pensamiento. *Centro Desarrollo Cognitivo, Universidad Diego Portales*.

Crossgrove, J. Z., W. (2004). Manganese toxicity upon overexposure. *NMR in Biomedicine*, 17, 544-553.

Das, J., Kirby, J., & Jarman, R. (1979). *Simultaneous and successive cognitive processes*. New York: Academic Press.

Delval, J. (1994). *El desarrollo humano*. Madrid: Siglo XXI.

Dorman, D., Struve, M., Clewell, H. r., & Andersen, M. (2006). Application of pharmacokinetic data to the risk assessment of manganese in humans: an update. *Environ. Res.*, 27(5), 752-764.

- Dreisbach, R. (2002). *Manual de Toxicología*. México: Manual Moderno.
- Finkelstein, Y. (2007). Modulation of cholinergic systems by manganese. *Neurotoxicology*, 28, 1003-1014.
- Flavell, J. (1984). *El desarrollo cognitivo*. Madrid: Visor.
- Graig, G. (1996). *Desarrollo psicológico*. México: Prentice Hall.
- Holmes, J. (1994). Assessment of developmental toxicity: Neuropsychological batteries. *Environmental health perspectives*, 102.
- Howe, M. (1979). *Introducción a la memoria humana*. México: Trillas.
- Hudnell, H. (1999). Effects from environmental Mn exposure: a review of the evidence from non- occupational exposure studies. *Neurotoxicology*, 20, 379-398.
- INEGI. (2004). *Hombres y mujeres de México*. DF, México: INEGI.
- Kaufman, A. (1982). *Psicometría razonada con el WISC*. México: El Manual Moderno.
- Keen, C. (2005). Manganese.
- Lezak, M. (2004). *Neuropsychological assessment* (4th ed.). EUA: Oxford University Press.
- Lipsitt, L., & Reese, H. (1985). *Desarrollo Infantil; Psicología Infantil*. México: Trillas.
- Luria, A. (1980a). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- Luria, A. (1980b). *Neuropsicología de la Memoria. Alteraciones de la memoria en la clínica de las afecciones locales del cerebro*. Madrid: H. Blume Ediciones.
- Manga, D., & Ramos, F. (1991). *Neuropsicología de la edad escolar*. Madrid: Visor.
- Mergler, D. (1998a). Capítulo 7. Sistema Nervioso. In M. d. T. y. A. Sociales (Ed.), *Manual de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Subdirección General de Publicaciones.
- Mergler, D. (1998b). Neurotoxic effects of low level exposure to manganese in human populations. *Environmental Research Section A*, 80, 99-102.

- Mergler, D., Baldwin, M., Bélanger, S., Larribe, F., Beuler, A., Bowler, R., et al. (1999). Manganese neurotoxicity: A continuum of dysfunction: results from a community based study. *Neurotoxicology*, 20, 327-342.
- Mergler, D., Huel, G., Bowler, R., Iregren, A., Bélanger, S., Baldwin, M., et al. (1994). Nervous system dysfunction among workers with long-term exposure to manganese. *Environ. Res.*, 64, 151-180.
- Montoya, M. (2002). *Toxicología clínica*. México: Mendez Editores.
- Mortada, W., Sobh, M., El-Defrawy, M., & Farahat, S. (2002). Reference intervals for cadmium, lead and mercury in blood, urine hair and nails among residents in Mansoura city, Nile Delta Egypt. *Environmental Research*, 90, 104-110.
- Navarro, J. (1993). *Aprendizaje y memoria humana*. Madrid: McGraw Hill.
- Novak, J. (1998). *Conocimiento y Aprendizaje*. Madrid: Alianza Editorial.
- Obrzut, J. (1986). *Child Neuropsychology*. Orlando Florida: Academic Press Inc.
- Pakin, A. (1999). *Exploraciones en Neuropsicología Cognitiva*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Papalia, D. (2001). *Desarrollo humano*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Peters, J., Rushton, L., Jones, D., Sutton, A., Mugglestone, M., & Abrams, K. (2003). Recommendations for systematic review and statistical synthesis in standard-setting: an evaluation of manganese review documents. *Epidemiology*, 14.
- Piaget, J. (1975). *Psicología del niño* Madrid: Morata.
- Pramod, P., Samii, A., & Calne, D. (1999). Manganese neurotoxicity: a review of clinical features, imaging and pathology. *Neurotoxicology*, 20, 227-238.
- Rains, D. (2002). *Principios de Neuropsicología Humana*. México: McGraw Hill.
- Ramírez, M. (2004). Inteligencia, Memoria y Simulación: correlaciones entre instrumentos de medida. *Revista de Neurología*, 38, 28-33.

- Riojas-Rodríguez, H. (2004). *Impacto en la salud del ecosistema por actividades antropogénicas en una cuenca manganésifera*. Mexico: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Rodrigues, J., & Batista, B. (2008). Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. *Science of the Total Environment*, 405, 370-376.
- Rodríguez-Agudelo, Y., Riojas-Rodríguez, H., Ríos, C., Rosas, I., Sabido, E., Miranda, J., et al. (2006). Motor alterations associated to environmental exposure to manganese in Mexico. *Sci. Total Environ.*, 368, 542-556.
- Ruiz-Vargas, J. (1994). *La memoria humana. Función y estructura*. Madrid: Alianza
- Santiago de T, J. (2006). *Procesos Psicológicos Básicos*. Madrid: McGraw Hill.
- Santos-Burgoa, C., Ríos, C., Mercado, L. A., Arechiga-Serrano, R., Cano-Valle, F., Eden-Wynter, R. A., et al. (2001). Exposure to manganese: health effects on the general population, a pilot study in central Mexico. *Environmental Research*, 25, 90-104.
- Sattler, J. (1996). *Evaluación Infantil*. México: Manual Moderno.
- Soprano, A. (2003). Técnicas para evaluar la memoria del niño. *Revista de Neurología*, 37, 35-43.
- Soprano, A., & Tallis, J. (1999). *Neuropediatría, Neuropsicología y aprendizaje*. Buenos Aires: Nueva Visión.
- Spreeen, O. (1995). *Developmental Neuropsychology*. New York: Oxford University Press.
- Takser, L., Mergler, D., & Hellier, G. (2003). Manganese, monoamine metabolite levels at birth, and child psychomotor development. *Neurotoxicology*.
- Talizina, T. (1992). *La formación de la actividad cognoscitiva de los escolares*. México: Angeles Editores.
- Talley, J. (1997). *Children's Auditory Verbal Learning Test*. EUA: Psychological Assessment Resources.
- US EPA, U. S. E. P. A. (1999). *Integrated Risk Information System (IRIS) on Manganese*. . Washington, DC: Office of Research and Development.

Wasserman, G., Liu, X., Parvez, F., Ahsan, H., Factor-Litvak, P., Kline, J., et al. (2006). Water arsenic exposure and intellectual function in 6-year-old children in Araihaazar, Bangladesh. *Environmental Health*, *115*, 285-289.

Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children*. San Antonio: The Psychological Corporation.

Wechsler, D. (2004). *Escala Wechsler de Inteligencia para Niños III*. México: Manual Moderno.

Wright, R., Amarasiriwardena, C., Woolf, A., Jim, R., & Bellinger, D. (2005). Neuropsychological correlates of hair arsenic, manganese, and cadmium levels in school-age children residing near a hazardous waste site. *Neurotoxicology*, *27*, 210-216.

ANEXO

Mapa del Distrito Manganesífero de Molango, Hidalgo.

